MODELOS MATEMÁTICOS PARA SECADO DE FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L.)

UTILIZANDO UN SECADOR DE BANDEJAS TIPO TÚNEL PARA PRODUCCIÓN DE HARINA

MIGUEL ÁNGEL LARREA CÉSPEDES
WILLY MONTALVO FERNÁNDEZ
JOSÉ LUIS RAMÍREZ ASCHERI

Ano 2021

MODELOS MATEMÁTICOS
PARA
SECADO DE FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L.)

UTILIZANDO UN SECADOR DE BANDEJAS TIPO TÚNEL PARA PRODUCCIÓN DE HARINA

MIGUEL ÁNGEL LARREA CÉSPEDES
WILLY MONTALVO FERNÁNDEZ
JOSÉ LUIS RAMÍREZ ASCHERI

Ano 2021

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Daphynny Pamplona
Gabriel Motomu Teshima
Luiza Alves Batista
Natália Sandrini de Azevedo
Imagens da capa
Dos autores
Edição de arte
Luiza Alves Batista

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Modelos matemáticos para secagem de feikão guandu(Cajanus cajan L.) utilizando secador de bandeja túnel para produção de farinha

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Autores: Miguel Ángel Larrea Céspedes
Willy Montalvo Fernández
José Luis Ramírez Ascheri

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C422 Céspedes, Miguel Ángel Larrea
Modelos matemáticos para secagem de feikão guandu(Cajanus cajan L.) utilizando secador de bandeja túnel para produção de farinha / Miguel Ángel Larrea Céspedes, Willy Montalvo Fernández, José Luis Ramírez Ascheri. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-807-3
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.073221301

1. Leguminosas - Aspectos econômicos. 2. Secagem. 3. Modelo matemático. 4. Biscoitos. 5. Propriedades funcionais. I. Céspedes, Miguel Ángel Larrea. II. Fernández, Willy Montalvo. III. Ascheri, José Luis Ramírez. IV. Título.
CDD 338.1733

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

SUMÁRIO

RESUMEN

MODELOS MATEMÁTICOS PARA SECADO DE FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L.) UTILIZANDO UN SECADOR DE BANDEJAS TIPO TÚNEL PARA PRODUCCIÓN DE HARINA

Granos de frijol de palo (*Cajanus cajan L*), fueron sometidos a proceso de secado y posterior molienda para la producción de harina, utilizando un secador de bandejas tipo túnel, con la finalidad de alcanzar una humedad que permitiera conservar las características del producto obtenido, modificar algunas propiedades funcionales, como: índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA). Seguidamente la harina de frijol de palo obtenida fue utilizada para la elaboración de galletas por sustitución de harina de trigo. Durante el estudio fue utilizado un delineamiento factorial 3^3. Las variables independientes estudiadas fueron: Temperatura de secado (45 °C, 50 °C, 55 °C); tiempo de secado (6 horas, 9 horas y 12 horas); velocidad de aire de secado (5,0; 5,5 y 6,0 m/s). Las mejores condiciones operacionales durante el proceso de secado fueron: 54,0 °C; 6,0 horas y 6,0 m/s. Estas condiciones permitieron reducir el contenido de humedad en 81,52 %; ; quedando finalmente establecida en 11,87 %. Los resultados también mostraron modificaciones en los contenidos de índice de absorción de agua, cuyo valor fue 5.052 g agua/g materia seca; a 45 ºC, 6,5 horas, 6,0 m/s. El índice de solubilidad en agua quedó establecido en 15,419 % a 54,0 °C; 6,0 horas y 6,0 m/s. Finalmente el estudio demostró que es posible la obtención de galletas de aceptable calidad tecnológica por sustitución de 15 % de harina de trigo por harina de frijol de palo.

PALAVRAS-CHAVE: Leguminosas, secagem, modelo matemático, biscoitos, propriedades funcionais.

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODELS FOR THE DRYING PROCESS OF PIGEONPEA (CAJANUS CAJAN L) USING TUNNEL TRAY DRYER FOR FLOUR PRODUCTION.

Pigeonpea (*Cajanus cajan L*), were subjected to a drying process and subsequent grinding for the production of flour, using a tunnel-type tray dryer, in order to reach a humidity that allowed to preserve the characteristics of the product obtained. Modify some functional properties, such as water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI). Subsequently, the bean flour obtained was used to make cookies by substituting wheat flour. During the study, a factorial delineation 3^3 was used. The independent variables studied were: Drying temperature (45 °C, 50 °C, 55 °C); drying time (6 hours, 9 hours and 12 hours); drying air speed (5.0, 5.5 and 6.0 m/s). The best operational conditions during the drying process were: 54,0 °C; 6,0 horas y 6,0 m/s.. These conditions allowed the moisture content to be reduced by 81,52 %; finally being established at 11.87%. The results also showed modifications in the contents of the water absorption index, whose value was 5.052 g water / g dry matter; at 45 °C, 6.5 hours, 6.0 m/s. The water solubility index was established at 15,419 % a 54,0 °C; 6,0 horas y 6,0 m/s. Finally, the study showed that it is possible to obtain cookies of acceptable technological quality by substituting 15% of wheat flour for stick bean flour pigeonpea.
KEYWORDS: Legumes, drying, mathematical model, cookies, functional properties.

RESUMO

MODELOS MATEMÁTICOS PARA SECAGEM DE FEIJÃO GUANDU (CAJANUS CAJAN L) UTILIZANDO SECADOR DE BANDEJA TÚNEL PARA PRODUÇÃO DE FARINHA.

Os grãos de feijão guandu (*Cajanus cajan L*), foram submetidos a um processo de secagem e posterior moagem para a produção da farinha, em secador de bandejas tipo túnel, de forma a atingir uma umidade que permitisse preservar as características do produto obtido. Propriedades funcionais, tais como: índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA). Posteriormente, a farinha de feijão obtida foi utilizada para fazer biscoitos em substituição à farinha de trigo. Durante o estudo foi utilizado um delineamento fatorial 3^3. As variáveis independentes estudadas foram: Temperatura de secagem (45°C, 50°C, 55°C); tempo de secagem (6 horas, 9 horas e 12 horas); velocidade do ar de secagem (5,0, 5,5 e 6,0 m/s). As melhores condições operacionais durante o processo de secagem foram: 54,0 °C; 6,0 horas y 6,0 m/s. Essas condições permitiram que o teor de umidade fosse reduzido em 81,52 %; finalmente fixando-se em 11,87%. Os resultados também mostraram modificações nos teores do índice de absorção de água, cujo valor foi de 5.052 g água / g matéria seca; a 45 ° C, 6,5 horas, 6,0 m/s. O índice de solubilidade em água foi estabelecido em 15,419 % a 54,0 °C; 6,0 horas y 6,0 m/s. por fim, o estudo mostrou que é possível obter biscoitos de qualidade tecnológica aceitável substituindo 15% da farinha de trigo por farinha de feijão guandu.

KEYWORDS: Legumes, secagem, modelos matemáticos, biscoitos, propriedades funcionais

INTRODUCCIÓN

La producción de leguminosas, principalmente de frijol de palo (*Cajanus cajan L*) en el Departamento de Lambayeque, está ubicada principalmente en zonas de economía campesina, lo que ocasiona que sean traídos de otras partes elevando el costo de comercialización. (López, 1986).

Actualmente en el Perú no existe un tipo especial de procesamiento tecnológico de secado de esta leguminosa de manera controlada para convertirla en harina y ser utilizada en la elaboración de otros productos alimenticios, tales como productos de panificación, alimentos extruidos y otros productos con alto contenido de fibra dietética. Considerándose métodos tecnológicos modernos de secado, implicaría la posibilidad de almacenar el frijol de palo por largos periodos y al mismo tiempo se conseguiría darle mayor valor agregado (Llontop & Monsefu, 2014).

El Frijol de palo es cultivado a nivel mundial, siendo consumido con mayor frecuencia en países como: Antillas, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Filipinas, Honduras, Nicaragua, Panamá, Puerto Rico, República Dominicana, Venezuela, Colombia y Perú; donde es conocido como frijol de palo o puspino.

El Perú es uno de los principales productores de esta leguminosa, e incluso es considerado como un producto de exportación. La exportación de Frijol de Palo Perú en el 2020 estuvo cerca de U$ 300 mil dólares. Los precios alcanzaron, en 2020 U$ 1.39 dólares por kilo en promedio. Siendo los principales destinos: Panamá Portugal y USA. (https://www.agrodataperu.com/wp-content/uploads/2021/01/00CONSRVAS2.jpg, visto en: 22/09/21)

A nivel de la región Lambayeque, el frijol de palo es el cultivo que más ha crecido en los últimos años después del Fenómeno El Niño de 1998, por lo que resulta rentable sembrarlo. Así mismo, se indica que Lambayeque exporta en menestras un promedio de 130 millones de dólares al año, siendo los más cotizados el mercado el frijol de palo, cuyo cultivo es más fácil realizar por el pequeño agricultor. (Velásquez, 2017)

Existen dos variedades: El criollo y el Sipán. **El criollo** es de color Marrón claro y sin pintas oscuras, es de consistencia más blanda. La variedad **Sipán** es más pareja en Tamaño, caracterizado por pintas de color marrón oscuro y de mayor consistencia.

Además, se precisa que los beneficios que tiene el frijol de palo es que la empresa compradora fija un precio mínimo de garantía y si el precio sube, el empresario paga un precio mayor. “Hoy la exportación de frijoles se ha diversificado pues se exportan frescos, congelados y en conservas. Es por ello que las menestras desde Lambayeque han marcado el camino con valor agregado.

Actualmente los productores del distrito alto andino de Inkawasi, zona de extrema pobreza del Departamento de Lambayeque, apuestan por la siembra de fríjol de palo

con fines de exportación, como alternativa al tradicional cultivo de maíz que les dejaba reducidas ganancias. (Foncodes, 2015)

Inicialmente, se instalaron 18 hectáreas de fríjol de palo en esta zona. "Ahora existen más de 80 hectáreas de esta variedad de leguminosa para exportación, lo que está beneficiando a los agricultores". Un 60 por ciento de esta producción es comercializada en el exterior en alianza con la fábrica Gandules y Veg & Fruit, que exportan estas leguminosas.

Durante los años 2016 y 2017, se exportaron 11.545,062 kilos y 3.714239 kilos respectivamente, en la modalidad de conservas, conforme indicado por la SUNAT (2017); se puede observar que, el frijol de palo goza de una gran aceptación en el exterior con ventas por US$ 3.2 millones; superando al pallar con US$ 2.7 millones, el frijol común con US$ 1.7 millones. La gran disponibilidad de esta materia prima (Cajanus cajan L), aliada al hecho de buscar nuevas formas de preservación y consumo, justifican un estudio de esta naturaleza.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar Modelos Matemáticos más adecuados para predecir el comportamiento del proceso de Secado de Frijol de Palo (Cajanus cajan L) Utilizando un Secador de Bandejas tipo Túnel para mejorar las propiedades funcionales de la Harina, obtenida a partir de esta leguminosa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los modelos matemáticos de primero o segundo orden que servirán para la predicción del proceso se secado del Frijol de palo fresco (Cajanus cajan L) utilizando las variables independientes Temperatura (ºC), Tiempo (horas) y Velocidad de aire (m/s) en función del contenido de humedad como variable dependiente, para su posterior obtención de harina.

Estudiar los efectos de las variables independientes: Temperatura (ºC), Tiempo (horas) y Velocidad de aire (m/s) en las propiedades funcionales de la harina del frijol de palo (Cajanus cajan L): índice de absorción de agua; e índice de solubilidad en agua, durante el proceso de secado en túnel de aire caliente.

El presente trabajo busca ensayar la substitución de diferentes porcentajes de harina de trigo por harina de frijol de palo (Cajanus cajan L), obtenidas utilizando un secador de bandejas tipo túnel, para la elaboración de galletas tipo cookies y de esta manera promover su uso más diversificado en la alimentación.

HIPÓTESIS

Los Modelos matemáticos de primero o segundo orden podrán ser los más adecuados para predecir el comportamiento del proceso de Secado de Frijol de Palo (Cajanus cajan L) Utilizando un Secador de Bandejas tipo Túnel para mejorar las propiedades funcionales de la harina de frijol de palo.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN CON FRIJOL DE PALO

Para solucionar los problemas relacionados con el hambre y de promover su uso integral, y más diversificado, evitando pérdidas, se han realizado numerosas investigaciones, así por ejemplo: se llevaron a cabo estudios científicos respecto a la cuantificación de fenoles totales del extracto estandarizado de las hojas de *Cajanus cajan L.* Otros trabajos tuvieron como objetivo la obtención del extracto estandarizado de las hojas de *Cajanus cajan L,* al cual se le determinó cuantitativamente el porcentaje de concentración de fenoles

totales. Previamente las hojas de *Cajanus cajan L.* fueron sometidas a sus respectivos controles de calidad conforme establecido por Chavez & Jiménez, (2016).

Trabajos realizados por Daza, (1984) mostraron la posibilidad de usar harina de frijol de palo en ensayos experimentales para la obtención de mezclas alimenticias con el maíz amarillo.

Ruíz, (1997) utilizó harina pre-cocida del frijol de palo para estudiar su caracterización y aplicación como substituto de la harina de trigo para uso en productos de Panificación. Habiendo obtenido buenos resultados hasta con 30% de substitución por harina de trigo.

Barbosa & Lao (2016) ensayaron los efectos de diferentes niveles de harina extrusada de frejol de palo (*Cajanus cajan L*), en la dieta de pollos de carne en las fases de crecimiento y acabado; concluyendo que es factible el uso de la harina de frejol de palo extruido (Cajanus cajan L) en raciones de pollos de carne en la fase de crecimiento y acabado, siendo 20 % el nivel más adecuado de inclusión en la ración.

En otro experimento, conducido por Silva et al (2020). Tuvo por objetivo estudiar la calidad fisiológica de semillas de gandul, sometidas a diferentes temperaturas de secado (40, 50, 60, 70 ° C), además de la coloración de las semillas a diferentes contenidos de agua durante el proceso de secado. El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitotecnia, Laboratorio de Semillas y en el Laboratorio de Postcosecha de Plantas IFGoiano - Campi Iporá y Rio Verde, respectivamente. Para evaluar la calidad fisiológica se realizó la prueba de germinación, índice de velocidad de germinación y conductividad eléctrica. Para analizar el color de las semillas, se sometieron a secado hasta alcanzar un contenido de humedad del 12% en base húmeda (b.u.). La evaluación del color de la semilla del frijol de palo se realizó mediante la lectura directa de la reflectancia de las coordenadas "L", "a" y "b", utilizando el colorímetro ColorFlex EZ. Concluyendo que las altas temperaturas reducen el tiempo de secado, sin embargo la mejor temperatura indicada para secar las semillas de frijol de palo sin afectar la calidad fisiológica es entre 40 y 50 ° C, siendo las altas temperaturas las que provocan un mayor daño a la semilla, consecuentemente reduciendo su calidad. el contenido proporcionó una variación en las coordenadas “L”, “a” y “b” de las semillas de gandul.

Investigaciones desarrolladas con proteínas de frijol de palo incluyen: harina (menor de 65 %), concentrados (mayor de 65 %) y aislados (mayor de 90 %), los cuales han sido estudiados para evaluar las propiedades funcionales de sus proteínas, por la importancia que representan para la industria de los alimentos y la forma cómo influyen en las características del producto final.

FUNDAMENTO TEÓRICO, CARACTERÍSTICAS GENERALES

El frijol de palo (Cajanus cajan L), conocido también por la FAO (2014) como Guandú, guisante de paloma, gandul, Pigeon pea, red gram, dahl o quinchoncho, es una leguminosa de alto valor nutritivo, cultivada en países de Asia, África, Islas del caribe y sur América (Saxena & Kumar, 2010). El origen de esta se disputa entre los botánicos; pues hasta el momento no se conoce a ciencia cierta si ella proviene del África o de la India. Pero si se sabe que es ampliamente cultivada en los trópicos y sub-trópicos de ambos hemisferios. En México se ha reportado su presencia en Baja California Sur, además de otros lugares como: Campeche, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, Sonora y Veracruz (Stevens *et al.*, 2001).

Este producto se encuentra dentro de las ocho leguminosas más cultivadas en el mundo. El ciclo del cultivo puede ser tanto anual como perenne. Es considerado como un cultivo de alto valor nutritivo. Sus granos contienen proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Se puede consumir como grano tierno, vale decir en estado fresco, y como grano seco. También puede utilizarse como barrera viva para detener la erosión, además puede usarse como cultivo de sombra en los almácigos o viveros y como protector del aire en regiones donde ocurren vientos huracanados. (Salas, 2016).

La siembra puede ser realizada de manera aislada y/o en forma asociada con otros cultivos en pequeñas superficies, los granos secos se pueden comercializar durante todo el año (Praderes & Pacheco, 2009). Los granos son ricos en proteínas, almidones, fibra y fitonutrientes bien adaptados para satisfacer las demandas de salud de los consumidores, también pueden usarse las semillas enteras, descascaradas o en harina, y también como forraje y abono verde, su potencial se debe a que es un cultivo económico y de alto valor proteico (Llontop & Monsefu 2014).

La planta de Frijol de palo es un arbusto perenne con hojas trifoliadas; racimos de flores muy numerosas, brácteas muy reducidas; flores amarillas con rayas color café; ovario cubierto de abundante vellosidad y puntos glandulares, con el estilo curvado hacia la punta; semillas cubiertas por una vaina, de color verde pajizo con rayas moradas.

FIGURA 1. Vainas de Frijol de palo conteniendo los granos en estado fresco granos

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de frijol de palo.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnolipsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Sub familia	Faboideae
Tribu	Phaseoleae
Género	Cajanus
Especie	Cajan L
Nombre Vulgar	Frijol de palo
Nombre Científico	Cajanus cajan L.

Fuente: Valladares (2010).

COSECHA

Las plantas de fríjol de palo se encuentran en condiciones aptas para ser cosechadas desde el momento en que las vainas comienzan a cambiar su color natural a un color café amarillento. Este momento se conoce con el nombre de madurez fisiológica donde los granos alcanzan su máximo tamaño. Es decir, cuando el 90 % de las vainas han cambiado de color, las hojas se vuelven amarillas por el envejecimiento o se han caído en su mayoría.

FAO (2014). De ahí; para adelante la planta entra en un proceso de secado, durante el cual se produce una pérdida uniforme y natural de la humedad del grano hasta niveles en que se puede considerar seco. En cualquier momento después de alcanzada la madurez fisiológica, Las plantas deben permanecer el mayor tiempo posible en el campo antes de ser eliminadas, de tal manera que se produzca un secado natural del grano a través de una pérdida gradual y uniforme de humedad. La cosecha debe efectuarse antes que las vainas se sequen demasiado, para poder reducir las pérdidas por desgranado.

Si la cosecha de la planta se anticipa, cuando todavía el contenido de humedad del grano es alto, se produce una pérdida de humedad muy rápida apareciendo los granos chupados o arrugados, dependiendo de su ubicación en la planta. Para evitar el desgrane, el arrancado de plantas y el movimiento de las mismas se debe efectuar en horas de la mañana. Una vez que la temperatura ambiental comienza a subir, se debe suspender esta labor, ya que el calor elimina la humedad que las vainas han retenido durante la noche, quedando expuestas a abrirse con el movimiento que se produce al momento del arrancado y traslado.

El frijol de palo demora hasta un año para producir, a partir de los nueve meses empieza a florear y dura su cosecha porque siempre está floreando. Este tipo de frijol resiste a las sequías, resiste a los vientos fuertes, no le ataca la helada.

FIGURA 2. Granos de frijol de palo (*Cajanus cajan L*) en estado fresco

PROPIEDADES NUTRITIVAS DEL FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L)

Varios autores han determinado la composición nutricional y química de semillas de guandul cruda, los resultados son presentados en la tabla Nº 1, las variaciones en la composición proximal se deben a la variedad de la semilla, etapa de madurez, tipo de suelo y condiciones climáticas que pueden haber afectado los parámetros físico – químicos en el cultivo (Daza, 1984).

La mayor importancia de estas especies radica en su utilidad alimenticia. Sus granos contienen altos niveles de proteínas (22 a 28%); vitaminas del complejo B, como ácido fólico, indispensable en las madres gestantes y el desarrollo humano, la Tiamina y Niacina; minerales, principalmente, hierro, fósforo y potasio a niveles superiores al de la carne de vacuno; además de calcio, magnesio y yodo. También, son fuente de hidratos de carbono, fibra alimenticia y pigmentos flavonoides con poderes antioxidantes. Está comprobado que el bajo contenido de grasa de los granos, sus propiedades antioxidantes y su capacidad para reducir la glucosa y los niveles de colesterol en sangre, contribuyen a prevenir la diabetes, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares. La fibra alimenticia facilita el tránsito y la salud intestinal contribuyendo a reducir la incidencia de cáncer al colon y al tracto digestivo. Por todas estas características, las menestras, principalmente el frijol de palo, han pasado de ser alimentos de los pobres, a ser alimentos nutraceúticos, recomendados por autoridades médicas de diversas partes del mundo, particularmente de los Estados Unidos de Norteamérica (Anderson, et al 1999).

TABLA 2. Composición Química 100 g de parte comestible del Frijol de Palo (Cajanus cajan L)

COMPONENTE	FRESCO *	SECO *	FRESCO **	SECO **
Calorías	143	336	143	345
Humedad (g)	68,55	14,0	62,7	10,3
Proteínas (g)	8,90	19,5	8,9	18,4
Grasas (g)	0,8	1,4	0,8	1,4
Carbohidratos (g)	26,0	61,4	26,0	56,1
Fibra	----	-----	3,2	7,8
Cenizas (mg)	1,06	3,7	1,6	3,8
Cálcio (mg)	16,0	114,0	16,0	114
Fosforo (mg)	322,0	400,0	322	388
Hierro (mg)	1,50	2,90	1,5	2,9
Vitamina A (UI)	-----	90,0	16	0
Tiamina (mg)	-----	0,61	0,34	0,84
Rivoflabina (mg)	-----	0,10	0,23	0,25
Niacina (mg)	-----	2,0	1,65	2,95
Ac. Ascórbico (mg)	4,80	4,0	4,8	4,6

(*) = Butt & Battol (2010); (**) = Collazos (1996)

EFECTOS DEL PROCESAMIENTO SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL DEL

FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L)

Como ya indicado anteriormente, por lo general las leguminosas contienen una buena cantidad de proteínas, calorías, ciertos minerales y vitaminas, pero su uso en alimentación humana es limitada por la presencia de factores anti-nutricionales, por ello se han utilizado algunos tratamientos tecnológicos adecuados y económicos como descascarado, lavado, cocción, fermentación y germinación que buscan reducir o remover los factores anti nutricionales para uso en alimentación humana y promover la calidad nutricional del producto. (Sangronis & Machado, 2004).

Definitivamente los tratamientos térmicos tienen efectos sobre la funcionalidad de las leguminosas, principalmente sobre su solubilidad, propiedades emulsificantes, propiedades gelificantes, capacidad de retención de agua y capacidad de retención de aceite. Mejora la calidad nutritiva de las leguminosas y reducen drásticamente los factores anti nutricionales. El tratamiento térmico de los subproductos sirve para mejorar el sabor, aumentar el valor nutritivo e inactivar los sistemas enzimáticos naturales (Rackis, 2007)

Tiwari *et al*., (2008) utilizaron tratamientos hidrotérmicos en estudios realizados con frijol de palo, encontraron alta capacidad de retención de agua y en la capacidad de retención de grasas, al contrario de lo observado, se notó una disminución en lo que se refiere a la estabilidad espumante. Similares resultados fueron observados por otros investigadores (Navarro et al., 2014); los mismos que concluyeron que, el procesamiento hidrotérmico y la fermentación natural afectan las propiedades funcionales en las harinas de fríjol, obteniendo un incremento en la capacidad de absorción de agua y aceite, pero con una disminución de la capacidad y estabilidad espumante. Este hallazgo permitió a los autores señalar que estas harinas pueden ser empleadas en formulaciones de alimentos viscosos, tales como sopas, salsa, masas y productos horneados, donde se requiera una buena interacción proteína - agua y una menor capacidad espumante.

Martínez et al (2010), indicaron que la fermentación mejora el valor nutricional del guandul, reduce los compuestos no nutritivos, mientras que incrementa la densidad y biodisponibilidad de los nutrientes, estos investigadores encontraron cantidades significativamente mayores de Gli, Ala y algunos aminoácidos esenciales como: Val, Leu, Lis y Thr en guandul fermentado.

Por otro lado, la germinación causa importantes cambios en las características bioquímicas, nutricionales y sensoriales de las semillas de leguminosas, en el guandul es un proceso efectivo para cambios en los parámetros químicos y nutricionales, particularmente el incremento en vitaminas B_2, E y C y la reducción de antinutrientes, como son los α-galactosidos, fosfato inositol e inhibidor de la actividad de la tripsina, además causa una disminución en el contenido de Alanina mientras que aumenta significativamente los valores de aminoácidos esenciales como: Leu, Thr y Trp (Martínez et al; 2010).

Sangronis *et al.,* observaron cambios en las propiedades funcionales de harinas obtenidas a partir de granos germinados y sugirieron su utilización en productos tales como: Salchichas, postres y productos horneados. Estos resultados difieren a los obtenidos por Oloyo (2004) quien obtuvo un incremento en el contenido de taninos, fenoles y actividad inhibidora de tripsina de las semillas durante el proceso la germinación progresiva.

Ghavidel y Prakash, (2007), demostraron que la combinación del proceso de descascarado y germinación en las leguminosas mejoraron la calidad por el aumento de la biodisponibilidad y digestibilidad de nutrientes y reducción de anti nutrientes.

TRATAMIENTO POST-COSECHA

Pre-Secado

El grano verde se puede almacenar a temperaturas de congelación o bien procesarlo y enlatarlo. El gandul se cosecha a los tres o cuatro meses después de la siembra. Debido a que la maduración es muy des uniforme, deben realizarse varias cosechas por un período aproximado de tres meses.

El *pre secado* es referido al secado del frijol en el campo, esta actividad se realiza cuando el tiempo está seco y consiste en arrancar la planta de frijol cuyo grano tiene un 30 a 50% de humedad, se juntan unas cuatro a cinco matas y se dejan en el campo para su secado, si el tiempo es soleado las vainas se secan en 3 a 4 días, se ponen quebradizas listas para el aporreo. La actividad de pre secado tiene mucho riesgo de pérdida de cosecha por ocurrencia de lluvias cuando las plantas están en contacto con el suelo, los productores por lo general reportan grandes pérdidas por este efecto provocando germinación de los granos y contaminación por hongos, lo que ocasiona pérdida de la calidad y reducción del precio del producto.

Secado en Vaina.

Esta tecnología utiliza el calor solar y el viento para secar el frijol arrancado, consiste en colgar el frijol sobre cordeles amarrados de una estaca a otra en el campo. La experiencia de los productores indica que cuando llueve el agua escurre fácilmente y el grano aguanta hasta 15 días de lluvia sin germinar. Una vez arrancadas las matas se hacen manojos de unas cuatro plantas, se espera a que las vainas estén secas para su aporreo.

Aporreo

El aporreo consiste en golpear las matas secas con un bastón de madera para que las vainas se habrán y liberen el grano, esta actividad se hace en día soleado o nublado en un lugar adecuado del campo, ya que luego es soplado y ensacado, para esta actividad se usan plásticos, lonas o sacos unidos entre sí. Al momento del aporreo el grano de frijol

tiene una humedad del 18 al 20 %, por lo tanto es necesario secarlo más para su venta o almacenamiento.

Secado de Granos

Una vez aporreado y soplado el frijol por lo general es transportado a la casa del productor, en donde debe ponerse al sol el grano de frijol para bajar la humedad a un 13 %, para esto los productores utilizan plásticos de color negro, debidamente colocados en el piso. Si el grano se almacena con humedad mayor del 14 % se puede producir un recalentamiento del grano que provoca pérdidas por germinación de la semilla, el grano se arruga, sirve también como substrato para el crecimiento de hongos y se desarrollan las plagas de almacenamiento, perdiendo así la calidad del grano. El hecho de bajar la humedad del grano en un tiempo rápido (secado excesivo) provoca endurecimiento del grano y daños físicos que hacen perder su calidad.

Almacenamiento

El frijol una vez seco (13% de humedad) se debe ensacar para su comercialización inmediata, si se va a esperar unos días para su venta o consumo los sacos deben colocarse sobre bases de madera y separados de la pared para que exista suficiente aireación para evitar exceso de calor que endurece el grano.

Harina de Frijol de Palo (Cajanus Cajan L)

Las harinas son el resultado de la molienda de los granos de esta leguminosa y dependiendo del tamaño de las partículas resultantes pueden ser denominadas como sémolas o harinas, De Luna (2007).

Castillo *et al*., (2009), realizaron estudios sobre las propiedades funcionales de las proteínas de la harina de frijol de palo; obtuvieron valores satisfactorios para su aprovechamiento en la Industria de los Alimentos en algunas propiedades funcionales, como capacidad de retención de agua (CRA) 2,0 - 2,1 mg/g, capacidad de absorción de aceite (CAA) 1,0 – 1,1g/g y capacidad emulsificantes (CE) 155,21g aceite/g proteína.; mientras que otros investigadores Onweluzo & Nwabugwu, (2009), reportaron una capacidad de retención de agua (CRA) de 1,42–2,19 g/g para harinas sin fermentar y harinas fermentadas.

Praderas *et al*., (2009) utilizaron un proceso de secado de doble tambor rotatorio para frijol de palo y observaron que las harinas obtenidas a través de este sistema mostraron alta solubilidad (83,5±0,25%) y alta capacidad de absorción de agua (4,7 ± 0,03g/g), además de poseer contenidos de almidón, proteína y fibra dietética adecuados para la producción de alimentos instantáneos.

Kaur, *et al.,* señalaron que la harina obtenida a partir de frijol de palo presentó una alta capacidad de retención de agua (CRA) de (1,37-1,39 g/g), debido al elevado contenido en polisacáridos, la capacidad de absorción de agua (CAA) fue 0,96 - 0,98g/g, propiedad

gelificante fue del 14% y la capacidad espumante de 34,5 - 37,3%.

En harina de frijol de palo cruda y procesada con diferentes tratamientos se observaron resultados similares a los de las harinas de soya, permitiendo usar en la Industria de Alimentos donde tradicionalmente la harina de soya ha sido usada como un extensor cárnico y salsas, donde la formación y estabilización de emulsiones son importantes.

Mizubiti *et al.*, (2000), obtuvieron una solubilidad de proteína del 70% a un pH de 7,5; la capacidad de retención de agua (CRA) fue 1,20 g/g; capacidad de absorción de agua (CAA) 0,99 g/g; indicando una baja capacidad de formación de espuma (CF); la capacidad de formación de geles (CG) fue del 20% (p/v) y la estabilidad de la emulsión (EE) fue de 87,50%.

Así mismo la alta solubilidad de la proteína de fríjol guandul a pH alcalino sugiere su posible aplicación en fórmulas de quesos, salsas, sopas, productos de carne molida, masas, productos de panadería y confitería.

Agunbiade & Longe, (1999), reportan algunas de las propiedades físico-funcionales encontradas al guandul: alta densidad, baja actividad de agua (aw) 0,65+/-0,01, capacidad de retención de agua de 103,79 (% CRA) y capacidad de absorción de aceite (% CAA) de 79,937.

CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR DESHIDRATACIÓN

La conservación de los alimentos por deshidratación es uno de los métodos más antiguos, el cual tuvo su origen en los campos de cultivo cuando se dejaban deshidratar de forma natural las cosechas de cereales, heno, y otros antes de su recolección o mientras permanecían en las cercanías de la zona de cultivo. (Bergeret, 1963).

El éxito de este procedimiento reside en que, además de proporcionar estabilidad microbiológica, debido a la reducción de la **actividad del agua** y fisicoquímica, aporta otras ventajas derivadas de la reducción del peso, en relación con el transporte, manipulación y almacenamiento. Para conseguir esto, la transferencia de calor debe ser tal que se alcance el calor latente de evaporación y que se logre que el agua o el vapor de agua atraviesen el alimento y lo abandone. Su aplicación se extiende a una amplia gama de productos: pescados, carnes, frutas, verduras, té, café, azúcar, almidones, legumbres, sopas, comidas precocinadas, especias, hierbas, etc. Es muy importante elegir el método de deshidratación más adecuado para cada tipo de alimento, entre los principales métodos utilizados, sobresale el método de secado tipo túnel.

SECADOR TIPO TUNEL PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS

Este tipo de secador sirve para pequeños emprendimientos industriales. Consiste

en un túnel horizontal elevado con una base rígida de hierro y una cobertura transparente de lámina de polietileno de larga duración, igual que el tipo carpa. El túnel se encuentra dividido en sectores, alternantes de colector y secador. Los primeros tienen la función de calentar el aire, que luego es utilizado para el secado de los productos en las bandejas. El aire circula en forma horizontal a través de todo el túnel, ingresando por un extremo y saliendo por el otro, generalmente se utiliza un ventilador eléctrico. En sitios donde no se cuenta con energía eléctrica está apoyado por una chimenea ubicada en la salida del secador. El aparato es una construcción modular plana con marco rígido, compuesta de dos chapas, con una capa intermedia de aislante térmico. Esta estructura se coloca sobre caballetes. Las bandejas de secado se pueden estirar lateralmente como los cajones de una cómoda. Por la altura relativamente grande de las bandejas es posible secar también productos que ocupan mucho volumen, tales como hierbas o flores. La entrada y la salida del aire están protegidas con una malla para evitar el ingreso de insectos u otro material contaminante. Para un mejor aprovechamiento del secador, se puede agregar un sistema de calefacción auxiliar.

FIGURA 3 Secador tipo túnel con bandejas para productos alimenticios, con temperatura, tiempo y velocidad de aire controlados

MATERIAL Y METODOS

LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo fue realizado en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo Universidad Señor de Sipán, Laboratorio de Agrobiotecnología del Parque tecnológico de la Universidad Señor de Sipán, distrito de Pimentel; y en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Chiclayo, Perú.

MATERIALES

Materia Prima

Fueron utilizados granos de frijol de palo (Cajanus cajan L) frescos, adquiridos en el Mercado Modelo de Chiclayo, con buenas características organolépticas.

Reactivos

Todos los reactivos utilizados, fueron de pureza analítica

Relación de los Principales Equipos

- Balanza analítica marca METLER AJ 150,
- 0,1 mg de sensibilidad
- Centrífuga FANEM, Hungría, tipo: LSZ-49ILZ, 3000 Rpm, 0,4 Kw
- Centrífuga H. W. KESSEL S.A., JP .SELECTA. Rango de 0 – 900rpm
- Estufa MEMMERT, rango de temperatura 0 - 220 ºC
- Equipo Digestor destilador de proteínas micro Kjeldahl LABANCO 60011
- Equipo extractor de grasa Soxhlet, de seis hornillas, LABLINE
- Mufla THERMOLYNE TYPE 1500, rango de temperatura 0 - 1200ºC
- Molino marca CORONA , modelo TE.020
- Incubadora MEMMERT, con rango de temperatura de 0 - 70ºC
- Pipetas automáticas graduadas, ALEMANIA
- Balón de digestión kjeldhal para determinar proteínas
- Balones volumétricos de 50, 100 ml
- Desecador acondicionados con sílica gel deshidratada

- Espátulas de metal
- Pipetas de 0,1 - 5ml
- Termómetros con rango de temperatura de 0 - 200°C
- Vasos de precipitación de 50, 100 y 250 ml
- Frascos de vidrio con tapa rosca 15 unid

Método Empleado

Se realizaron controles relacionados con análisis fisicoquímicos y sensoriales, en diferentes etapas del proceso de secado del frijol de palo (Cananus cajan L), teniendo especial cuidado en las etapas de: escaldado, secado y molienda, operaciones importantes en la determinación de las características nutritivas y organolépticas en el producto final.

Diagrama de Flujo
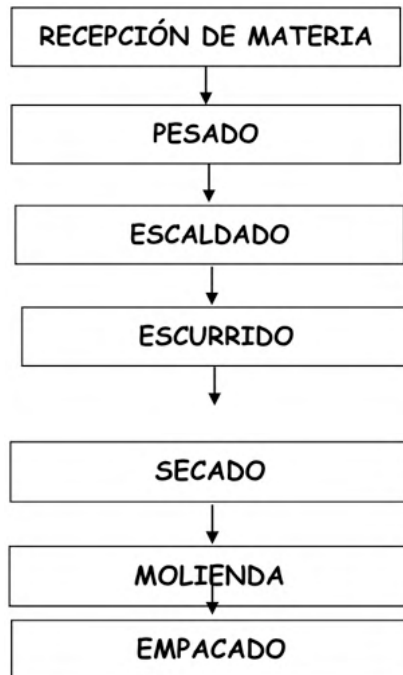
FIGURA 4: Diagrama de flujo para secado de frijol de palo para obtención de harina

DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES UNITARIAS REALIZADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO

Obtención de La Materia Prima

La materia prima fue obtenida directamente del Mercado Modelo ubicada en la jurisdicción del Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Departamento de La Libertad, Perú.

Lavado

Se utilizó agua potable con la finalidad de eliminar impurezas.

Pesado

Se realizó utilizando una balanza semi analítica con la finalidad de colocar las cantidades adecuadas de muestra durante los procesos de escaldado y secado.

Escaldado

Se procedió a realizar una operación de blanqueo o escaldado con la finalidad de prevenir el oscurecimiento enzimático, toda vez que el calor debe desnaturalizar las enzimas propias del frijol de palo. La forma de realizar el blanqueo fue sumergiendo el producto en agua con una solución alcalina utilizando cloruro de sodio al tres (3 %) a temperatura de 90°C por un tiempo de 3,0 minuto, se suspendió luego con un colador sobre un recipiente de agua a la temperatura indicada. El calor también fue aplicado con la finalidad de ocasiona la muerte de microorganismos que pudieran dañar el producto.

Escurrido

Se dejaron las muestras en reposo por un periodo aproximado de 5 minutos para eliminar el exceso de agua adsorbido durante el proceso de escaldado, que no es mas del 1%.

Secado

Se realizó usando un secador de bandejas con aire forzado, esparciendo los granos de la leguminosa en bandejas de 500 g de muestra, removiendo las muestras de manera intermitente para asegurar un secado homogéneo. Luego los granos de frijol fueron acondicionados para el proceso de secado hasta que tengan un contenido de humedad de aproximadamente un 10 %. Garantizando de este modo una vida de almacenamiento razonablemente larga,

Molienda

Después de secado, el producto se procedió a realizar una operación de molienda utilizando un molino de disco hasta la obtención de un polvo fino.

Empacado

Los productos molidos provenientes de cada uno de los tratamientos fueron colocados en frascos de vidrio y cerrados herméticamente para la realización de los análisis correspondientes, todo ello para prevenir la formación de grumos y/o la proliferación de hongos.

Diseño Experimental
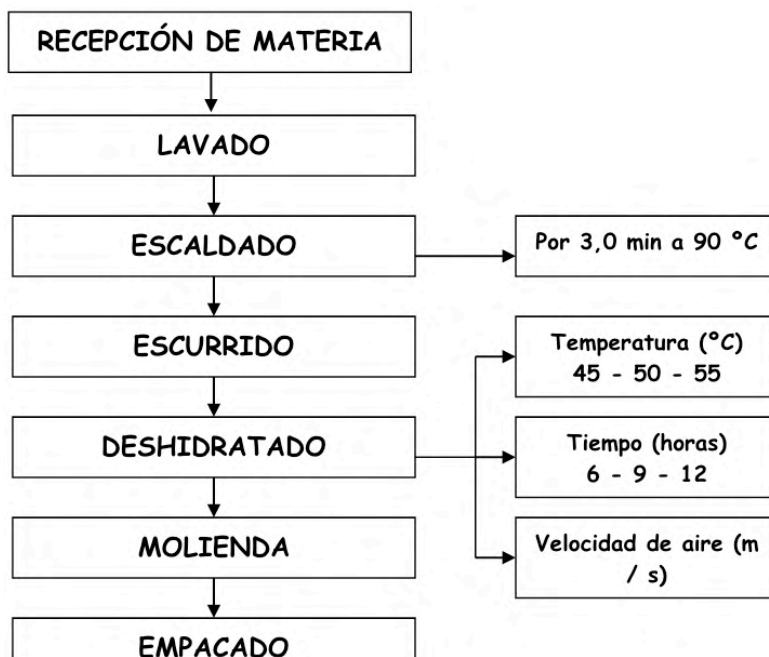
FIGURA 5. Principales etapas y controles a realizar durante el desarrollo del experimento

Determinación De Variables

Las variables independientes **Temperatura de secado(X_1), Tiempo de secado (X_2), y Velocidad de aire (X_3)** fueron analizadas según el Diseño 3^3 (Box Behnken, 1960). Las variables dependientes escogidas para el estudio fueron: humedad; Índice de absorción de agua; Índice de solubilidad en agua.

Delineamiento Experimental

En la tabla 4 están presentadas las variables que fueron estudiadas, con sus respectivos niveles de variación.

Se utilizó un delineamiento factorial con punto central (3^3) de la metodología de superficie de respuesta (BOX & BEHNKEN, 1960) conforme indicado en la tabla 5.

TABELA 4. Delineamiento factorial incompleto (3^3) de la metodología de superficie de respuesta (BOX & BEHNKEN, 1960)

VARIABLES	NIVELES		
	-1	0	+1
X_1	45,0	50,0	55,0
X_2	6,0	9,0	12,0
X_3	5,0	5,5	6,0

TABELA 4. Delineamiento factorial incompleto (3^3) de la metodología de superficie de respuesta (BOX & BEHNKEN, 1960)

X_1 = Temperatura de Secado (ºC)

X_2 = Tiempo de Secado (horas)

X_3 = Velocidad de aire (m/seg)

TABLA 5. Delineamiento estadístico (3^3) de los experimentos

Número de Experimento	Niveles codificados de variables		
	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	+1	-1	0
3	-1	+1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	+1	0	-1
7	-1	0	+1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	+1	-1
11	0	-1	+1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

X_1 = Temperatura de Secado (ºC)

X_2 = Tiempo de Secado (horas)

X_3 = Velocidad de aire (m/seg)

Fuente: Box & Behnken, 1960

Optimización del Proceso de Germinación en Función de las Variables Estudiadas

Con la finalidad de identificar el área experimental que permitiera maximizar las

propiedades estudiadas, fue establecida una nueva variable dependiente, visando representar y unificar el efecto de las multirespuestas, basada en los modelos desarrollados por Silva y Borsato (1985). La expresión matemática (Z_f) de esa función respuesta global fue:

$$Z_1 = \frac{(ISA)\,(IAA)}{Humedad}$$

ISA = índice de solubilidad en agua; IAA= índice de absorción en agua.

Procesamiento de Análisis de Datos

Para el análisis de los efectos combinados de las variables independientes (X_1,X_2,X_3) en las respuestas que fueron evaluadas (yi), se empleó la metodología de superficie de respuesta (Box y Benhken, 1960). Los promedios de datos de cada uno de los 15 experimentos para cada respuesta fueron tratados por análisis de regresión múltiple, para desarrollar modelos matemáticos de primer ó segundo orden según sea el caso, conteniendo los términos lineales, cuadráticos y productos de sus interacciones. Fue utilizada software Estatística en computador LAB.TOP I-7.

El nivel de significación de los modelos, fue tratada por análisis de variancia. En ella se observó el grado de significación de la regresión y de la falta de ajuste del modelo a los datos experimentales, al 95% de confianza, con la ayuda de la prueba de F, y el análisis del coeficiente de determinación (R^2).

El modelo, para ser considerado predictivo para describir determinada característica en la región analizada, debió presentar regresión significativa al nivel de 95% de confianza, falta de ajuste no significativo en el mismo nivel de confianza y un alto valor de R^2 (más próximo de 1 ó 100%).

Elaboración de Galletas con Harina de Frijol de Palo

Para la elaboración de galletas se tomó como base Harina especial de trigo a la cual se adicionó diferentes niveles de harina de frijol de palo en cantidades de 5; 10 y 15 % respectivamente. Una formulación conteniendo harina de trigo fue utilizada como control.

Las galletas fueron elaboradas por modificación de la formulación patrón "Sugar - Snap Cookie" método 10 - 50 D establecida por la American Asociation of Cereal Chemistry (AACC). La masa fue preparada en una batidora eléctrica marca IMACO; para ello, se utilizaron cantidades adecuadas de mantequilla, azúcar, sal, leche en polvo, lecitina de soya y polvo de hornear marca ROYAL. Los cuales ingredientes fueron mezcladas a baja velocidad (Nº 2) por tres minutos. Luego se agregó agua y la masa elaborada fue mezclada a la misma velocidad (Nº 2) por un minuto; seguidamente se incrementó la velocidad (Nº 3) por el tiempo de un minuto más.

Después se adicionó toda la harina y la masa fue mezclada a baja velocidad (Nº 2) por dos minutos; finalizada la etapa de mezclado se procedió a dividir la masa en pequeñas porciones se; extendió y con la ayuda de una laminadora y se procedió al moldeado utilizando un molde especial para galletas, el exceso de masa fue descartado.

La masa moldeada fue colocada en moldes, las mismas que fueron previamente bañadas con mantequilla y luego llevadas a horneado, el tiempo y temperatura de cocción fue de aproximadamente 5 minutos a 180 ºC.

Finalmente, las galletas fueron retiradas del horno y dejadas en reposo para su enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente, luego fueron colocadas en bolsas de polietileno y posteriormente en cajas de cartón hasta el momento del análisis.

TABLA 6. Elaboración de galletas con adición de diferentes cantidades de harina de frijol de palo (Cajanus cajan L)

Ingredientes	Formulaciones			
	Control	5% HFP	10 % HFP	15% HFP
Harina de trigo (g)	700,00	665,00	630,00	595,00
Almidón de maíz (g)	175,00	166,25	157,00	148,75
Harina frijol palo (g)	---------	43,75	87,50	131,56
Azúcar refinada (g)	200,00	200,00	200,00	200,00
Mantequilla (g)	162,00	162,00	162,00	162,00
Polvo para hornear (g)	19,00	19,00	19,00	19,00
Leche en polvo (g)	17,00	17,00	17,00	17,00
Cloruro de sodio (g)	8,00	8,00	8,00	8,00
Lecitina soya (g)	5,25	5,25	5,25	5,25
Agua (ml)	155,00	165,00	180,00	198,00

HFP: Harina de frijol de palo

Determinaciones Analíticas de las Harinas de Frijol de Palo Obtenidas Durante El Proceso de Secado

La humedad, se determinó en estufa a 105ºC. Hasta peso constante, de acuerdo con el método 44-15 de la AACC (1990). Las proteínas fueron determinadas utilizando el método micro destilador Kjeldahl 46-13 de la AACC (1990) utilizando el factor 6,25. Los Lípidos, fueron realizados utilizando el método de Soxhlet, (método 30 - 10) recomendado por la AACC (1990). Las cenizas, se determinaron según las recomendaciones del método 08 - 01 de la AACC (1990).

Determinación de la acidez titulable. - La acidez titulable se realizó siguiendo las

indicaciones del método aplicado para harinas. El resultado fue expresa en porcentaje de ácido sulfúrico Método de análisis según descrito en la metodología de la AOAC, 1984.

Fibra cruda o bruta, fue calculada conforme o método 32-10 da AACC (1990), por hidrolisis ácida y alcalina.

Índice de absorción de agua (IAA)

Fueron determinados por el método descrito por Anderson et al., (1969) con pequeñas modificaciones. Muestras de 2,5 g de harina de harina de frijol de palo (por duplicado) se colocaron en 25 ml de agua destilada a 25 ºC, en tubos de centrífuga de 50 ml, previamente pesados, sometidos luego a agitación constante por 30 min. Posteriormente centrifugadas a 2600 rpm durante 10 min. Los sobre-nadantes líquidos de cada tubo fueron cuidadosamente transferidos placas petri de peso conocido, y el tubo conteniendo la muestra fue pesado. El índice de absorción de agua se obtuvo por la división del peso de la harina del frijol de palo hidratada entre el peso de la muestra seca, y expresada en g de agua /g de muestra seca.

Índice de Solubilidad en agua (ISA)

El sobre-nadante proveniente de la determinación del índice de absorción de agua, fue colocado en placa petri, y llevado a evaporación en estufa a 105 ºC hasta peso constante. El índice de solubilidad en agua (ISA) se obtuvo dividiendo el peso de los sólidos secos recuperados por evaporación entre el peso de la muestra total. Los resultados fueron expresados en porcentaje.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS GALLETAS PRODUCIDAS CON ADICIÓN DE HARINA DE FRIJOL DE PALO

Índice de expansión

Se determinó de acuerdo con el método 10-50 AACC (1995), como la relación entre el diámetro promedio de 5 galletas y el espesor promedio de las mismas. Los resultados fueron expresados en mm.

Medición del espesor de las galletas

La medición del espesor de las galletas con los diferentes tratamientos (control, 5%, 10% y 15% de harina de frijol de palo), se realizó una vez preparada la masa y cortadas las galletas, para esto se utilizó un vernier y se midió el espesor de 5 galletas por tratamiento, esta medición se realizó antes de que la masa entre al horno y después de salida del horno.

Medición del diámetro de las galletas

La medición del diámetro de las galletas con los diferentes tratamientos (control, 5%,

10% y 15% de harina de frijol de palo), se realizó una vez preparada la masa y cortadas las galletas, para ello se utilizó una regla y se midió el diámetro de 5 galletas por tratamiento, esta mediciones se realizaron antes y después del proceso de horneado.

Gradiente de humedad

Las galletas asadas y enfriadas, fueron sometidas a cortes circulares concéntricos, posteriormente se realizaron determinaciones de humedad de la parte central y de la parte externa por el método de la estufa a 105 °C. El valor de la gradiente de humedad fue determinada como la diferencia de humedades entre la parte externa e interna de las mismas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L).

En la tabla 7 se presenta la composición química del frijol de palo (Cajanus cajan L)

TABLA 7. Composición química del grano de frijol de palo en estado fresco seco

Componentes	Estado fresco	Estado seco
Energía	127.31 Kcal/100g	338,88 Kcal/100g
Humedad [(1)]	64,23	11,98
Proteínas [(2)]	7,33	21,02
Lípidos	0,55	1,87
Cenizas	1,52	2,30
Fibra cruda	3,11	8,25
Carbohidratos totales [(3)]	23,26	58,33
Acidez	--------	0,048

[(1)] Determinada en estufa (105 °C)

[(2)] N x 6,25

[(3)] Por diferencia

Las mayores cantidades de nutrientes que aporta el frijol de palo (Cajanus cajan L) para uso industrial o para consumo humano directo, está relacionado con su contenido de proteínas y carbohidratos, además existen ciertas propiedades funcionales consideradas de gran importancia durante el procesamiento tecnológico.

Estudios realizados por Collazos, et al (1996) reportaron datos de humedad del frijol de palo en estado fresco de 62,70 %, mientras que Butt & Battol (2010) manifestaron valores de 68,55 %, se puede decir que el valor observado en el presente estudio se encuentra dentro de los límites exigidos para la comercialización del frijol de palo fresco, cuyo valor fue de 64,23. Estudios reportados por Collazos (1996) muestran un contenido de humedad de 10,3 % para el frejol de palo en estado seco, mientras que Butt & Battol (2010) indicaron valores de 14 % Valor muy similar al obtenido en en este trabajo (11,95 %).

En cuanto al contenido de proteínas podemos indicar que el valor de 7,33 % en estado fresco encontrado en el presente estudio, es ligeramente menor al reportado por Butt & Battol (2010) quien obtuvo un valor de 8,9 %. Sin embargo, es de notarse que ambos valores se hallan dentro de los límites de variación permisibles para este tipo de productos. Así mismo se puede evidenciar que el propio Collazos, et al. (1996) indicaron cantidades de 18,4 % de proteínas en estado seco, siendo este valor ligeramente inferior al encontrado

en nuestro caso (21,02 %).

El material en estudio también presenta un bajo contenido de lípidos totales, lo cual lo clasifica como un alimento sano, de fácil digestión y de reducida probabilidad de deterioro por oxidación de lípidos. Su alto contenido de fibra (8,25 %) en estado seco según reportado por Butt & Battol (2010) también indicaría que es ideal para el consumo humano, principalmente de personas que sufren de diabetes y enfermedades cardiovasculares.

Es importante puntualizar que las diferencias observadas por diferentes autores ponen en evidencia que no siempre existe concordancia con relación a la composición química de los productos alimenticios; pues las fuentes de tales variaciones son: Las condiciones climáticas, El método de análisis escogido, la variedad del producto, el grado de madurez y otros factores.

PROCESAMIENTO DE SECADO DEL FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L)

FIGURA 6. Muestras de frijol de palo (Cajanus cajan L) en pleno proceso de secado, utilizando un secador de bandejas tipo túnel.

FIGURA 7. Muestras de frijol de palo luego del proceso de secado a 55 ºC; 9,0 horas y 5,0 m/ seg de velocidad de aire.

FIGURA 8. Muestras de las harinas de frijol de palo luego del proceso de secado de acuerdo al diseño experimental.

EFECTO DE LAS VARIABLES DE SECADO EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE FRIJOL DE PALO

Contenido de humedad (ho)

Los resultados experimentales obtenidos en relación con el contenido de humedad (Ho), de cada uno de los tratamientos durante el proceso de secado del frijol de palo *(Cajanus cajan L)*, son mostrados en la Tabla 8.

El modelo de regresión, así como el grado de significación de las variables independientes, son presentados en la Tabla 9. El análisis de variancia (ANVA) para el modelo completo, es presentado en la Tabla 10.

Por el análisis de variancia (mostrado en la tabla 10) se observa que el coeficiente de determinación R^2 = 0,9262 muestra un buen ajuste del modelo a los datos experimentales. La regresión MQ_R / MQ_r significativa (F_c = 6,97 vs F_t = 4,77) y la falta de ajuste MQ_{faj} / MQ_{ep} no significativo (F_c = 5,32 vs. F_t = 19,16) permite concluir que esta ecuación es adecuada para representar el contenido de humedad (Ho) dentro del intervalo de variación estudiado. Por lo tanto, esta ecuación pude ser utilizada con fines de predicción de valores de contenido de humedad, pudiendo servir además para mostrar la tendencia de la humedad, estableciéndose que el mayor valor obtenido, corresponde a 11,87 %.

El análisis del grado de significación presentado en la tabla Nº 9 mostró que el contenido de humedad (Ho) fue influenciado significativamente por efectos lineales de la temperatura (X_1) y tiempo de secado (X_2) y por el efecto cuadrático de la velocidad de aire (X_3^2). Siendo la variable de mayor influencia el tiempo de secado.

La figura 9 presenta el diagrama de superficie de respuesta en función de las variables Temperatura de secado (X_1) y Tiempo de secado (X_2) para una velocidad de aire considerada en el presente estudio (6,0 m/seg). En ella se puede observar que es posible alcanzar valores de humedad correspondiente a 11,87 % con temperaturas comprendidas entre 45,0 °C durante 6,4 horas o también con 51,25 ºC durante 6,0 horas.

Box, G.P.; Draper, N.R (1987) indicaron que, para considerar a un modelo útil con fines de predicción, debe cumplir con los siguientes requisitos: R^2 (debe estar muy cercano a 1,0 o 100 %); desviación estándar (σ debe ser bien pequeño < 1,0); Coeficiente Variación (menor de 15%); Regresión altamente significativo ($F_c > F_t$); Falta de ajuste no significativo ($F_c < F_t$); % de Variancia Explicada (cercano al máximo de variación explicable).

TABLA 8. Efecto de las variables temperatura, tiempo y velocidad de aire en las propiedades físico químicas de la harina de frijol der palo *(Cajanus cajan L)*

Número De Ensayo	Variables Independientes			Variables Dependientes			
	X_1	X_2	X_3	Ho	IAA	ISA	RGO
1	-1	-1	0	11,57	4,5409	9,11	3.5754
2	+1	-1	0	10,50	3,1200	1,85	3.5211
3	-1	+1	0	7,50	2,9870	1,.23	4.4725
4	+1	+1	0	6,67	3,3929	10,71	5.4479
5	-1	0	-1	11,17	4,2700	13,31	5.0880
6	+1	0	-1	7,67	2,2402	8,72	2.5468
7	-1	0	+1	10,67	4.1921	9,19	3.6106
8	+1	0	+1	9,17	3,4801	12,24	4.6452
9	0	-1	-1	11,54	3,3531	9,98	2.8707
10	0	+1	-1	8,66	3,0727	13,10	4.6481
11	0	-1	+1	11,66	4.4733	11,72	4.4963
12	0	+1	+1	9,67	3,5909	9,51	3.5315
13	0	0	0	9,33	3,2312	8,47	2.9333
14	0	0	0	8,66	2,8602	7,20	2.3780
15	0	0	0	8,67	3,2200	7,20	2.6740
		Promedios		9,5406	3,4683	9,9693	3.7626
		Materia Prima		64,23	1,5733	5,08	

X_1 = Temperatura de secado (ºC);

X_2 = Tiempo de secado (horas);

X_3 = Velocidad del aire de secado (m/seg).

Ho = Contenido de humedad del frijol de palo (%)

IAA = Índice de absorción de agua (gH_2O/gms);

ISA = Índice de solubilidad en agua (%);

D.Ap. = Densidad aparente (g/10 cm^3).

TABLA 9 Modelo de regresión y grado de significación de las variables independientes correspondiente al **Contenido de Humedad (Ho)** del frijol de palo (*Cajanus cajan L*). Secado durante el presente experimento

MODELO CUADRÁTICO Y DE INTERACCIONES

$Y_1 = \mathbf{8{,}88667} - \mathbf{0{,}8625x_1} - \mathbf{1{,}59625x_2} + \mathbf{1}{,}05262x_3 + 0{,}2696x_1^2 + 0{,}44292x_2^2 + \mathbf{1{,}05292x_3^2} +$
(0,221) (0,135) (0,135) (0,135) (0,199) (0,199)
(0,199)

$0{,}06000x_1x_2 + 0{,}5000x_1x_3 \quad 0{,}22250x_2x_3$
(0,191) (0,191) (0,191)

Efecto de las Variables independientes	Nivel de Significación (P · 0,05) Modelo Completo
Intercepción	0,000622*
Lineal	
X_1	0,023889*
X_2	0,007155*
X_3	N.S.
Cuadrático	
X_1^2	N.S.
X_2^2	N.S.
X_3^2	0,034181*
Interacción	
X_1X_2	N. S.
X_1X_3	N.S.
X_2X_3	N.S.

Modelo de regresión cuadrático, (errores abajo entre paréntesis); (*) **=** significativo a 95 % de confianza $\mathbf{X_1}$ = temperatura de secado (ºC); X_2 = tiempo de secado (horas); $\mathbf{X_3}$ = velocidad del aire de secado (m/seg); $\mathbf{Y_1}$ **= Humedad** de las muestras correspondientes al modelo cuadrático luego del proceso de secado del frijol de palo (*Cajanus cajan L*).

TABLA 10. Análisis de variancia para el modelo cuadrático correspondientes a los resultados experimentales de **Humedad (Ho)** luego del proceso de secado de los granos de frijol de palo *(Cajanus cajan L)*

ANÁLISIS DE VARIANCIA MODELO CUADRÁTICO Y DE INTERACCIONES

Media de las respuestas: 9,5400 — Coeficiente de determinación (R^2) : 0,9262
Desviación normal : 0,7274 — Coeficiente de variación (C. V. = %) : 7,6252

VARIACIÓN	SQ	GL	QM	Fc	Ft
Regresión	33,223850	9	3,691538	6,97	4,77
Residuo	2,6458400	5	0,529168		
Falta Ajuste	2,3509700	3	0,783656	5,32	19,16
Error Puro	0,2948700	2	0,147435		
Total	35,869690	14			

% de Variancia Explicada = 92,62
% Máxima de Variancia Explicable = 99,18

Negrito = significativo a 95 % de confianza $\mathbf{X_1}$ = Temperatura de secado (ºC); tiempo de secado (horas); $\mathbf{X_2}$ = velocidad del aire de secado (%); $\mathbf{R^2}$ = coeficiente de determinación; **C. V**. = coeficiente de variación; **GL** = grados de libertad; **SQ** = suma de cuadrados; **QM** = cuadrado medio; **Fc** = F calculado; **Ft** = F tabular.
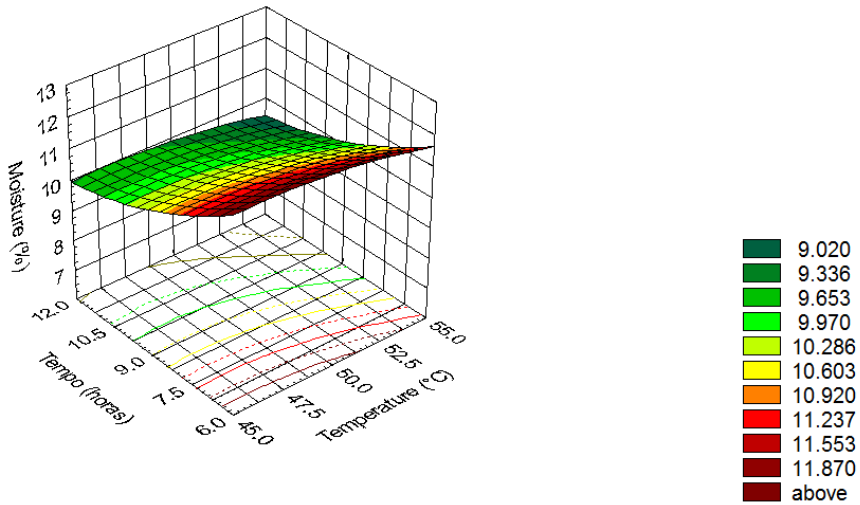
FIGURA 9. Diagrama de superficie tridimensional mostrando el efecto de la temperatura (ºC) y el tiempo (horas) para una velocidad de aire de 6 m/seg. Sobre el **contenido de humedad (Ho)** durante el proceso de secado del frijol de palo en estado fresco (Cajanus cajan L).

ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

De acuerdo con los datos experimentales para el índice de absorción de agua (IAA) mostrados en la tabla 8 se establece el modelo de regresión cuadrático (mostrado en la tabla 11). Por el análisis de variancia (tabla 12) se observa que el coeficiente de determinación R^2 = 0,9209 muestra un buen ajuste del modelo a los datos experimentales obtenidos mediante el empleo de factoriales, la regresión MQ_R / MQ_r es significativa (6,15 vs 4,77); mientras que La relación MQ_{faj} / MQ_{ep} indica que no existe evidencia de falta de ajuste del modelo a los datos experimentales (F_c = 2,84 vs F_t = 19,16); esto permite concluir que esta ecuación puede ser utilizada para calcular valores de índice de absorción de agua (IAA) dentro del intervalo de variación estudiado. Por lo tanto, pude ser utilizada con fines de predicción de valores de absorción de agua.

El análisis del grado de significación indicado en la tabla 11 mostró que el índice de absorción de agua (IAA) fue influenciado significativamente por los efectos lineales de las variables independientes: Temperatura (X_1); y Velocidad de flujo de aire de secado (X_3). Además, por el efecto de las interacciones de la temperatura y tiempo de secado (X_1X_2); Siendo la variable de mayor influencia el efecto lineal de la temperatura (X_1).

La figura 10 presenta el diagrama de superficie tridimensional en función de las variables Temperatura de secado (X_1) y Tiempo de secado (X_2) para una velocidad de aire establecida en 6,0 m/seg. En dicha figura se puede observar que es posible alcanzar valores de IAA correspondiente a 5,052 g agua/g materia seca, con temperaturas comprendidas

entre 45 ºC por 6,2 horas o 46,2 ºC por 6,0 horas de secado. Esto puede ser atribuido al hecho de que a estas condiciones existiría la liberación de un mayor número de grupos ($^-$OH) que estarían disponibles para ligarse con moléculas de agua (FAUBION *et al.*, 1982).

Algunos investigadores (LOPEZ et al., 1997) han manifestado que el valor del índice de absorción de agua (IAA) tiende a incrementarse debido a una reducción en el tamaño de las partículas. Los autores indican además que es muy difícil comparar valores de índice de absorción de agua en los diferentes productos, pues ello estaría en dependencia de las condiciones experimentales, como: temperatura, tiempo, y muy especialmente de la forma de preparación de las muestras, para el proceso de secado.

En la Figura 11 se presenta la forma de determinación del índice de absorción de agua (IAA) para una mejor ilustración, de acuerdo al procedimiento establecido por ANDERSON, et al (1969).

TABLA 11 Modelo de regresión y grado de significación de las variables independientes correspondientes al **Índice de Absorción de Agua (IAA)** del frijol de palo (Cajanus cajan L) durante el proceso de secado

MODELO CUADRÁTICO Y DE INTERACCIONES

$$Y_2 = \mathbf{3{,}1038} - \mathbf{0{,}4758x_1} - 0{,}3117x_2 + \mathbf{0{,}3500x_3} + 0{,}1710x_1^2 + 0{,}2479x_2^2 + 0{,}2708x_3^2 + \mathbf{0{,}4692x_1x_2} + 0{,}3294x_1x_3 - 0{,}1505x_2x_3$$

(0,122) (0,074) (0,074) (0,074) (0,109) (0,109) (0,109) (0,105) (0,105) (0,105)

Efecto de las Variables independientes	Nivel de Significación (P · 0,05) Modelo Cuadrático
Intercepción	0,001537*
Lineal	
X_1	0,023715*
X_2	N.S.
X_3	0,044255*
Cuadrático	
X_1^2	N.S.
X_2^2	N.S.
X_3^2	N.S.
Interacción	
X_1X_2	0,047036*
X_1X_3	N.S.
X_2X_3	N.S.

Modelo de regresión cuadrático, (errores abajo entre paréntesis); (*) **=** significativo a 95 % de confianza **X_1** = temperatura de secado (ºC); X_2 = tiempo de secado (horas); **X_3** = velocidad del aire de secado (m/seg); **Y_2 = Índice de absorción de agua (gH_2O/gms)** de las muestras correspondientes al modelo completo luego del proceso de secado del frijol de palo (Cajanus cajan L).

TABLA 12. Análisis de variancia para el modelo cuadrático correspondientes a los resultados experimentales de **Índice de Absorción de Agua (IAA)** del frijol de palo (Cajanus cajan L) durante el proceso de secado

ANÁLISIS DE VARIANCIA MODELO CUADRÁTICO Y DE INTERACCIONES					
Media de las respuestas: 3,4683 Desviación normal : 0,3074		Coeficiente de determinación (R^2) : 0,9209 Coeficiente de variación (C. V. = %) : 8,8763			
VARIACIÓN	**SQ**	**GL**	**QM**	**Fc**	**Ft**
Regresión	5,503899	9	0,611544	6,15	4,77
Residuo	0,472437	5	0,094487		
Falta Ajuste	0,383363	3	0,127787	2,84	19,16
Error Puro	0,089074	2	0,044953		
Total	5,976170	14			
% de Variancia Explicada = 92,09 % Máxima de Variancia Explicable = 98,51					

Negrito = significativo a 95 % de confianza **X_1** = Temperatura de secado (ºC); tiempo de secado (horas); **X_2** = velocidad del aire de secado (%); **R^2** = coeficiente de determinación; **C. V**. = coeficiente de variación; **GL** = grados de libertad; **SQ** = suma de cuadrados; **QM** = cuadrado medio; **Fc** = F calculado; **Ft** = F tabular.
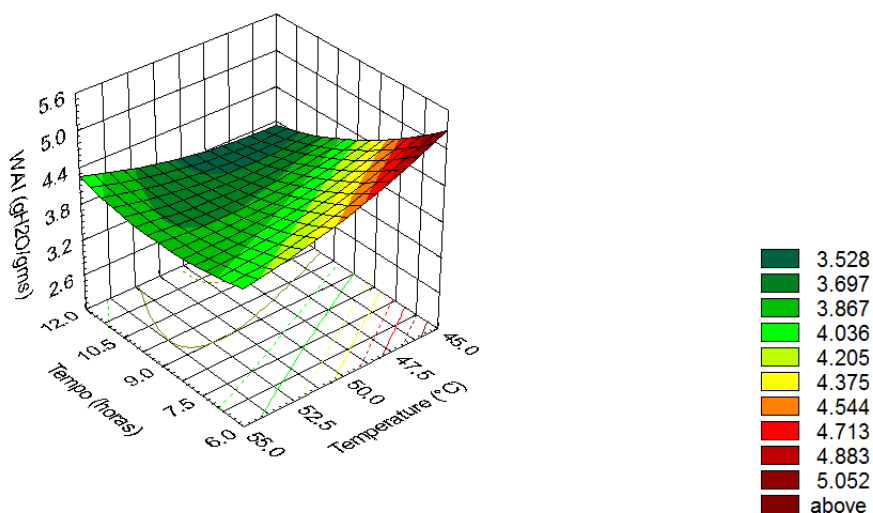
FIGURA 10. Diagrama de superficie tridimensional mostrando el efecto de la temperatura y tiempo de secado en el **Índice de Absorción de agua (IAA)** de muestras de frijol de pajo (Cajanus cajan L) para una velocidad de aire de 6,0 m/seg

FIGURA 11. Determinación de absorción de agua (IAA) de las harinas de frijol de palo de acuerdo al delineamiento experimental.

ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)

De acuerdo con los datos experimentales obtenidos por medio del planeamiento factorial, los cuales son mostrados en la tabla 8 se establece el modelo cuadrático, vale decir el modelo de regresión completo para el índice de solubilidad en agua (ISA). Por el análisis de variancia (mostrado en la tabla 13) se advierte que el coeficiente de determinación $R^2 = 0,9442$ muestra un buen ajuste del modelo a los datos experimentales, se observa también que la regresión MQ_R / MQ_r es significativa ($F_c = 9,41$ vs $F_t = 4,77$); al mismo tiempo la relación MQ_{faj} / MQ_{ep} indica que no existe evidencia de falta de ajuste del modelo a los datos experimentales, toda vez que $F_c = 1,22$ vs $F_t = 19,16$), ello permite concluir que esta ecuación puede ser utilizada para mostrar la tendencia de la variación del índice de solubilidad en agua (ISA) en función de las variables y por supuesto dentro del intervalo de niveles que se han estudiado.

El análisis del grado de significación presentado en la tabla 13 mostró que el índice de solubilidad en agua (ISA) fue influenciado significativamente por los efectos cuadráticos del tiempo de secado (X_2^2) y velocidad del aire (X_3^2), además por los efectos de interacción de la temperatura y velocidad del flujo de aire (X_1X_3) Siendo la variable de mayor influencia el efecto de las interacciones de la temperatura y la velocidad de aire de secado (X_1X_3).

En la Figura 15 se presenta la forma de determinación del índice de Solubilidad en agua (ISA), para los 15 tratamientos establecidos en el diseño experimental, de acuerdo al procedimiento establecido por ANDERSON, et al (1969).

TABLA 13. Modelo de regresión y grado de significación de las variables independientes correspondientes al **Índice de Solubilidad en agua (ISA)** del frijol de palo (Cajanus cajan L) durante el proceso de secado

MODELO CUADRÁTICO Y DE INTERACCIONES

$$Y_3 = 7{,}62333 + 0{,}0850x_1 + 0{,}2362x_2 - 0{,}3063x_3 + 1{,}4446x_1^2 + \mathbf{1{,}6571x_2^2} + \mathbf{1{,}7971x_3^2} +$$

(0,042) (0,259) (0,259) (0,259) (0,381) (0,381) (0,381)

$$-0{,}8150x_1x_2 + \mathbf{1{,}9100x_1x_3} - 1{,}3226x_2x_3$$

(0,366) (0,366) (0,366)

Efecto de las Variables independientes	Nivel de Significación (P · 0,05) Modelo Cuadrático
Intercepción	0,003070*
Lineal	
X_1	N. S.
X_2	N.S.
X_3	N.S.
Cuadrático	
X_1^2	N.S.
X_2^2	0,049151*
X_3^2	0,042250*
Interacción	
X_1X_2	N.S.
X_1X_3	0,034925*
X_2X_3	N.S.

Modelo de regresión cuadrático, (errores abajo entre paréntesis); (*) **=** significativo a 95 % de confianza **X_1** =temperatura de secado (ºC); **X_2** = tiempo de secado (horas); **X_3** = velocidad del aire de secado (m/seg); **Y_2 = Índice de Solubilidad en agua (%)** de las muestras correspondientes al modelo completo luego del proceso de secado de frijol de palo (Cajanus cajan L).

La figura 12 presenta el diagrama de superficie de respuesta en función de las variables Temperatura de secado (X_1) y Tiempo de secado (X_2) para una velocidad máxima de aire (6,0 m/seg). En ella se puede observar que es posible alcanzar un valor de ISA correspondiente a 15,419 % con temperatura de 54,2 °C por 6,0 horas o bien con temperatura de 55,0 °C por 6,3 horas.

Así mismo por la figura 13 se puede notar que cuando la superficie de respuesta es graficada en función de las variables Temperatura de secado (X_1) y velocidad de aire de secado (X_3) **para un tiempo máximo de 12,0 horas**, es posible alcanzar valores de ISA correspondiente a 16,320 %, con temperatura de **45 °C y** velocidad de aire de secado de **5, 3** m/seg; o bien alcanzar el mismo valor con temperatura de **45,6 °C usando un tiempo de 5,0 m/seg**. Mientras que la figura 14 muestra la superficie de respuesta en función de las variables Temperatura de secado (X_1) y velocidad de aire de secado (X_3) **para un tiempo de 6,0 horas**, la misma que indica que es posíble alcanzar un valor de 15.463 a la

temperatura de 54,2 °C y 6,0 m/sg de velocidad de aire.

TABLA 14 Análisis de variancia para el modelo cuadrático correspondientes a los resultados experimentales de **Índice de Solubilidad en agua (ISA)** del frijol de palo (Cajanus cajan L) durante el proceso de secado.

ANÁLISIS DE VARIANCIA MODELO CUADRÁTICO Y DE INTERACCIONES					
Media de las respuestas: 12,2300 Desviación normal : 0,7795			Coeficiente de determinación (R^2) : 0,9442 Coeficiente de variación (C. V. = %) : 6,3739		
VARIACIÓN	**SQ**	**GL**	**QM**	**Fc**	**Ft**
Regresión	51,44495	9	5,716619	9,38	4,77
Residuo	3,044583	5	0,608916		
Falta Ajuste	1,969313	3	0,656437	1,22	19,16
Error Puro	1,075270	2	0,537635		
Total	54,49416	14			
% de Variancia Explicada = 94,42 % Máxima de Variancia Explicable = 98,02					

Negrito = significativo a 95 % de confianza $\mathbf{X_1}$ = temperatura de secado (ºC); $\mathbf{X_2}$ = Tiempo de secado (horas); $\mathbf{X_3}$ = velocidad del aire de secado (m/seg); $\mathbf{R^2}$ = coeficiente de determinación; **C. V**. = coeficiente de variación; **GL** = grados de libertad; **SQ** = suma de cuadrados; **QM** = cuadrado medio; **Fc** = F calculado; **Ft** = F tabular.
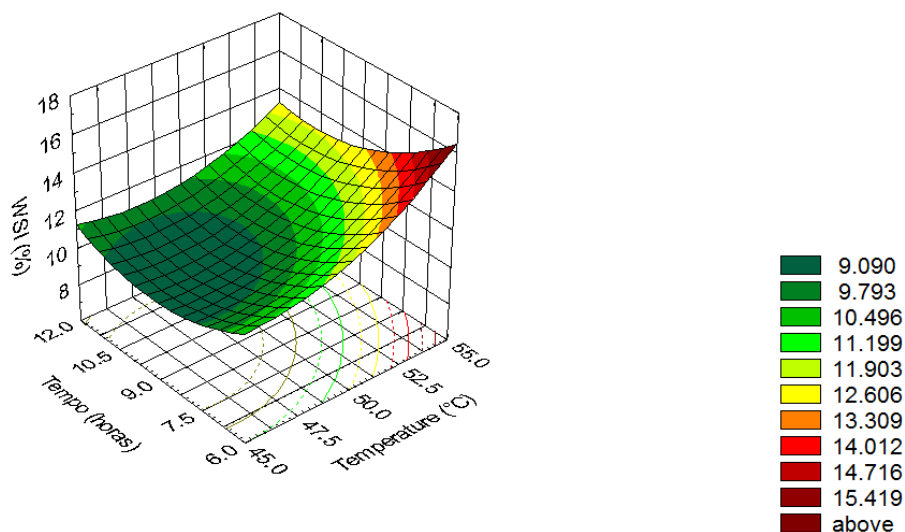
FIGURA 12. Diagrama de superficie tridimensional mostrando el efecto de la temperatura y tiempo sobre el **Índice de Solubilidad de agua (ISA)** de muestras de frijol de palo (Cajanus cajan L) para una velocidad de aire de 6.0 m/seg.
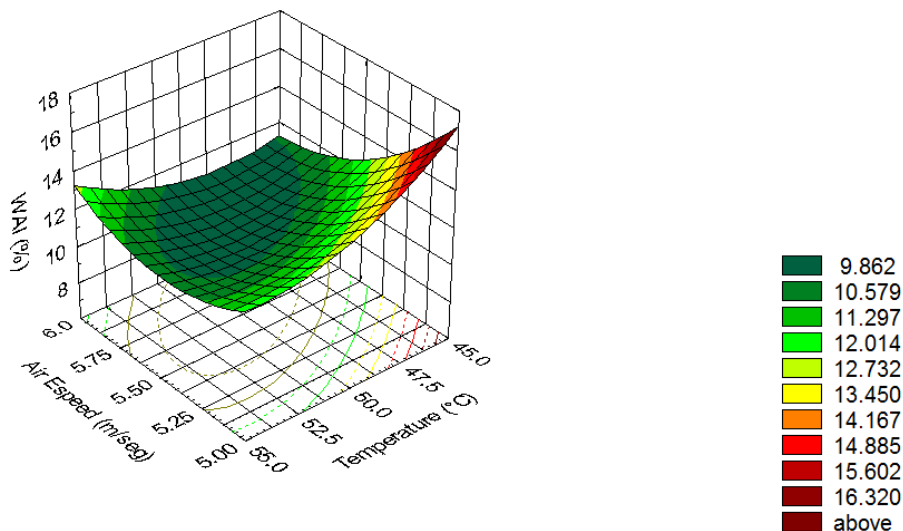
FIGURA 13. Diagrama de superficie tridimensional mostrando el efecto de la temperatura y velocidad de aire sobre el **Índice de Solubilidad en agua (ISA)** de muestras de frijol de pajo (Cajanus cajan L) para un tiempo de secado de 12,0 horas
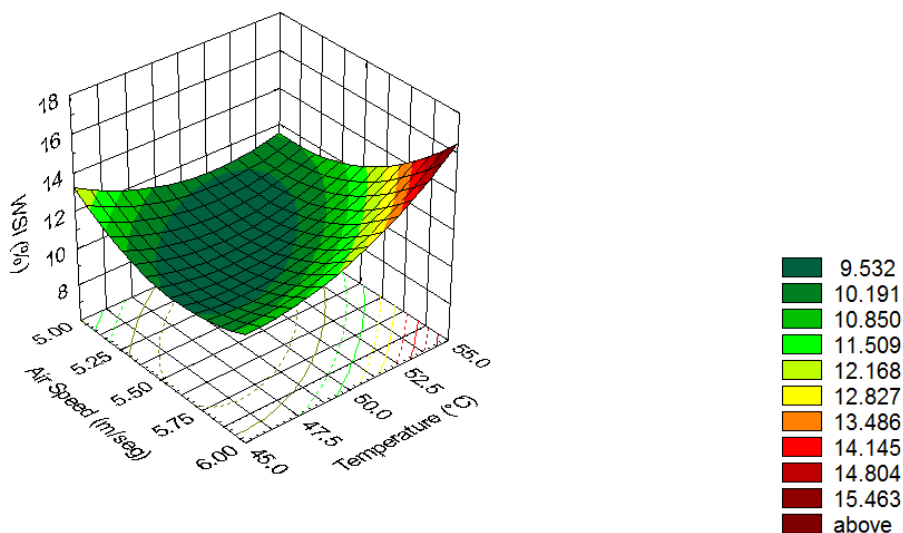
FIGURA 14. Diagrama de superficie tridimensional mostrando el efecto de la temperatura y velocidad de aire sobre el **Índice de Solubilidad en agua (ISA)** de muestras de frijol de pajo (Cajanus cajan L) para un tiempo de secado de 6,0 horas
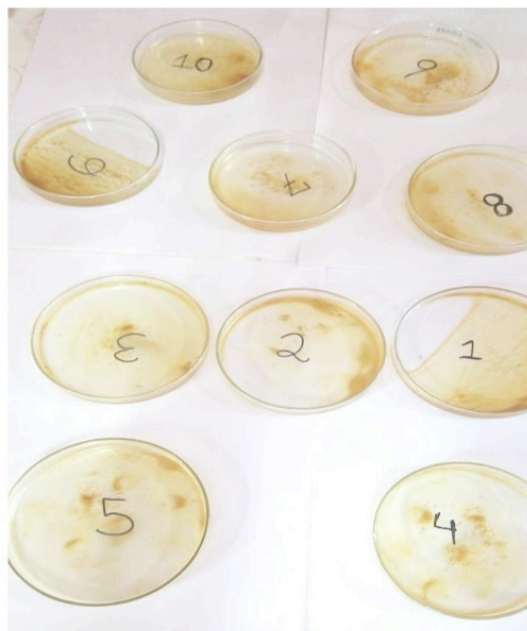
FIGURA 15. Determinación de Índice de Solubilidad de Agua (ISA) de las harinas de frijol de palo de acuerdo al diseño experimental.

EFECTO DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES EN LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DEL FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L)

Los resultados obtenidos a partir de la fórmula establecida para la optimización del proceso de secado del frijol de palo (Cajanus cajan L), en función de la respuesta global observada (RGO), son presentados en a tabla 15.

La regresión MQ_R / MQ_r significativa (F_c = 4,78 vs F_t = 4,77); y la evidencia de que no existe una falta de ajuste MQ_{faj} / MQ_{ep} (F_c = 5,37 vs. F_t = 19,16); muestran la importancia del modelo como siendo adecuado para estimar valores en conjunto de las variables independientes estudiadas en los rangos de variación. Permitiendo así concluir que esta ecuación puede ser utilizada para mostrar la tendencia de la variación de la Respuesta optimizada (RGO)

El análisis del grado de significación presentado en la tabla 15 mostró que la Respuesta Global Optimizada (RGO), fue influenciado significativamente por el efecto lineal del tiempo de secado, los efectos cuadráticos del tiempo (X_1^2) y temperatura (X_2^2); además por los efectos combinados de la temperatura y velocidad de aire (X_1X_3); así como los efectos de interacción del tiempo con la velocidad de aire. Siendo esta última (X_1X_3), la variable de mayor influencia.

La figura 16 presenta el diagrama de superficie de respuesta en función de las variables Temperatura de secado (X_1) y velocidad de aire de secado (X_3) para un tiempo

de 6,0 horas. En dicha figura se puede observar que es posible alcanzar las mejores condiciones operacionales a las siguientes condiciones: Temperatura de 54,0 °C; Tiempo de 6,0 horas y velocidad de aire correspondiente a 6,0 m/seg.

TABLA 15. Modelo de regresión y grado de significación de las variables independientes correspondientes a la **Respuesta Global Optimizada (RGO)** del frijol de palo (Cajanus cajan L) durante el proceso de secado

MODELO CUADRÁTICO Y DE INTERACCIONES

$$Y_3 = \mathbf{2{,}6617} - 0{,}0732x_1 + \mathbf{0{,}4546x_2} + 0{,}1412x_3 + \mathbf{0{,}8892x_1^2} + \mathbf{0{,}7532x_2^2} + 0{,}4716x_3^2 + 0{,}2544x_1x_2 + \mathbf{0{,}8939x_1x_3} - \mathbf{0{,}6855x_2x_3}$$

(0,160) (0,982) (0,982) (0,982) (0,145) (0,145) (0,145) (0,138) (0,138) (0,138)

Efecto de las Variables independientes	Nivel de Significación (P · 0,05) Modelo Cuadrático
Intercepto	0,003612*
Lineal	
X_1	N. S.
X_2	0,043667*
X_3	N.S.
Cuadrático	
X_1^2	0,028430*
X_2^2	0,034934*
X_3^2	N:S:
Interacción	
X_1X_2	N.S.
X_1X_3	0,023310*
X_2X_3	0,038698*

Modelo de regresión cuadrático, (errores abajo entre paréntesis); (*) **=** significativo a 95 % de confianza **X_1** =temperatura de secado (ºC); **X_2** = tiempo de secado (horas); **X_3** = velocidad del aire de secado (m/seg); **Y_2 = Índice de Solubilidad en agua (%)** de las muestras correspondientes al modelo completo luego del proceso de secado de frijol de palo (Cajanus cajan L).

TABLA 16 Análisis de variancia para el modelo cuadrático correspondientes a los resultados experimentales de la **Respuesta Global Optimizada (RGO)** del frijol de palo (Cajanus cajan L) durante el proceso de secado.

ANÁLISIS DE VARIANCIA MODELO CUADRÁTICO Y DE INTERACCIONES

Media de las respuestas: 3,7626 — Coeficiente de determinación (R^2) : 0,8959
Desviación normal : 0,5288 — Coeficiente de variación (C. V. = %) : 14,0541

VARIACIÓN	SQ	GL	QM	Fc	Ft
Regresión	12,03738	9	1,337487	4,78	4,77
Residuo	1,398350	5	0,279670		
Falta Ajuste	1,243950	3	0,414650	5,37	19,16
Error Puro	0,154400	2	0,077200		
Total	13,435730	14			

% de Variancia Explicada = 89,59
% Máxima de Variancia Explicable = 98,02

Negrito = significativo a 95 % de confianza **X_1** = temperatura de secado (ºC); **X_2** = Tiempo de secado (horas); **X_3** = velocidad del aire de secado (m/seg); **R^2** = coeficiente de determinación; **C. V.** = coeficiente de variación; **GL** = grados de libertad; **SQ** = suma de cuadrados; **QM** = cuadrado medio; **Fc** = F calculado; **Ft** = F tabular.
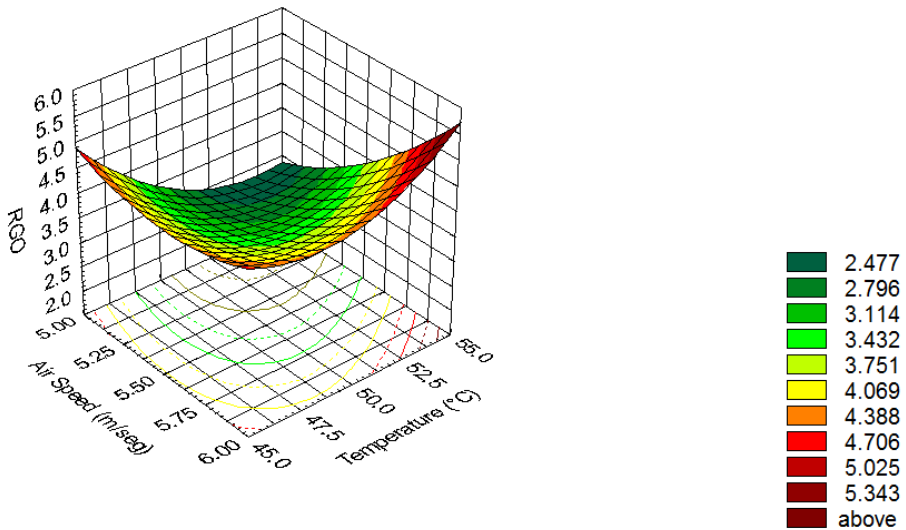
FIGURA 16. Diagrama de superficie tridimensional mostrando el efecto de la temperatura y velocidad de aire sobre la Respuesta Global Optimizada **(RGO)** de muestras de frijol de pajo (Cajanus cajan L) para un tiempo de secado de 6,0 horas

ELABORACION DE GALLETAS CON DIFERENTES PORCENTAJES DE HARINA DE FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L)

En la figura 17 se observa la harina de frijol de palo (Cajanus cajan L), la misma que fue obtenida en base a resultados del contenido de humedad más adecuado, utilizando los parámetros indicados en la superficie de respuesta tridimensional. El valor de humedad de 11,87 % alcanzada durante el proceso de secado a la temperatura de: 45,0 °C; tiempo de 6,7 horas y velocidad de aire de 6,0 m/s; la misma que fue utilizada para la elaboración de galletas. Garantiza una buena estabilidad.

FIGURA 17. Harina de frijol de palo obtenida a la temperatura de: 45,0 °C; tiempo de 6,7 horas y velocidad de aire de 6,0 m/s; utilizada para la elaboración de galletas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LA HARINA DE TRIGO USADOS EN LA ELABORACIÓN DE GALLETAS

En la Tabla 15 se presentan los resultados de la harina de trigo utilizada en el presente estudio; normalmente el contenido de humedad de la harina de trigo, oscila entre valores de 10,0 % a 14,0 %. Bajo estas condiciones, el almacenamiento de dicho producto puede ser considerado estable. Cuando la humedad es mayor de 14 % se favorece el crecimiento de hongos, y pueden ocurrir problemas de posible germinación. Humedades menores aumentan los riesgos de rancidez oxidativa de los lípidos naturales, con la consecuente formación de radicales libres que darán paso posteriormente a la aparición de per-óxidos. En cuanto al contenido de proteínas, podemos indicar que estos se encuentran dentro del rango permisible para la elaboración de galletas. (BELEIA & GROSSMANN, 1990).

Estudios realizados por WADE (1988) indicaron que, para elaboración de galletas, las harinas de trigo deben presentar bajo contenido de proteínas, vale decir entre 7,0 y 10,0%. Por ello se recomienda que cuando se utilizan harinas débiles, es necesario aumentar el contenido de materia grasas en la formulación o usar almidón de maíz para equilibrar la fuerza de la harina. Sin embargo, es necesario tener en cuenta las diferentes variedades de trigo de las cuales se obtienen diferentes harinas

TABLA 15. Composición química de la harina de trigo utilizada en la elaboración de galletas con adición de harina de frijol de palo.

Nutrientes	Contenido (%)
Energía	349.5 Kcal
Grasa total	4.0 g
Grasas saturadas	0.1 g
Grasas Trans.	0.0 g
Sodio	0.0 mg
Total carbohidratos	75.0 g
Fibra dietética total	3.4 g
Proteína	10.44 g
Vitamina B1 (Tiamina)	0.5 mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	0.4 mg
Vitamina B3 (Niacina)	4.8 mg
Vitamina B9 (Ácido Fólico)	0.12 mg
Hierro	5.5 mg

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS GALLETAS ELABORADAS CON HARINA DE FRIJOL DE PALO.

La calidad de las galletas comienza con la elección de los ingredientes y debe ser determinada a través de evaluaciones físicas, químicas; de las cuales las más empleadas son: expansión, volumen específico, color, dureza, humedad, apariencia general, aceptabilidad, etc. Estas características son grandemente influenciadas cuando se utilizan harinas suplementadas con diferentes fuentes de proteínas y otros constituyentes.

En la Tabla 16 se presentan los resultados de la composición química de las de galletas con adición de 15 % de harina de frijol de palo; mientras que las galletas elaboradas con harina (control) y con adición de diferentes porcentajes de harina de frejol de palo presentadas en las figuras 16; 17; 18 y 19. Los resultados de los análisis físicos, se muestran en la tabla 17. y en la Tabla 18 los resultados del análisis sensorial.

TABLA 16. Composición química de las de galletas con adición de 15 % de harina de frijol de palo.

Nutriente	Cantidad
Energía total	474.80 Kcal/100 gr
Humedad	2,45%
Materia Seca	97,55%
Acidez	0,085%
Proteína base Seca	11,97%
Grasas base seca	19,60%
Carbohidratos	62,63%
Cenizas base seca	01,60%
Fibra cruda base seca	01,75%

En el presente estudio, es importante indicar que las galletas elaboradas con niveles de 15 % de sustitución presentaron contenidos de humedad adecuados, es decir menor de 2,5 %. Este hecho es importante, toda vez que estudios realizados por SMIT (1972) indicaron que el contenido total de humedad de las galletas debe estar en torno de 2,0 %.

Las pérdidas o ganancias de humedad en las galletas van acompañadas por cambios en sus dimensiones DUNN & BAILEY (1928). Dichos autores indicaron que estos cambios, por pérdida de humedad producen encogimiento y expansión de los bordes, esto llevaría al stress dentro del producto. Si este stress excede la fuerza mecánica, la misma que está relacionada con la flexibilidad de su estructura, entonces se presentan fisuras y consecuentemente la quiebra de las galletas.

TABLA 17. Características físicas de las galletas control y las elaboradas con adición de 5%; 10% y 15% de harina de frijol de palo.

Parámetros Evaluados	Concentraciones de Harina de frijol de palo			
	Control	5%	10%	15%
Peso antes del horno (g)	93.24^{c}	90.84^{b}	86.57^{a}	95.19^{d}
Peso después del horno (g)	78.97^{c}	75.84^{a}	72.08^{b}	77.91^{c}
Humedad (masa) (%)	15.30^{a}	16.50^{ab}	16.73^{ab}	18.15^{b}
Diámetro antes del horno (mm)	59.8^{a}	59.4^{a}	59.4^{a}	59.6^{a}
Diámetro después del horno (mm)	57.8^{a}	60.6^{b}	62.4^{b}	56.2^{a}
Espesor antes del horno (mm)	2.64^{a}	2.76^{ab}	2.98^{b}	2.92^{ab}
Espesor después del horno (mm)	4.3^{a}	4.6^{a}	4.3^{a}	4.1^{a}
Índice de expansión (D/E)	13.53^{a}	13.24^{a}	14.55^{a}	13.89^{a}

Los resultados de la formulación control, basados en el peso de las galletas antes de la cocción fueron significativamente mayores (P · 0,05) en relación a las demás formulaciones de galletas elaboradas con diferentes porcentajes de adición de harina de frijol de palo. Estos resultados son concordantes con las observaciones realizadas por LARREA et al (2005). Estos autores indicaron que niveles de 15% de substitución de pulpa de naranja sometida a proceso de extrusión aumentaron el peso de las galletas, probablemente como consecuencia de la capacidad de retención de agua por la pulpa. No fueron reportadas diferencias significativas entre el control y las galletas elaboradas con 15 % de harina de frijol de palo en relación al peso de la masa después del proceso de cocción.

En cuanto al contenido de humedad de las masas antes del cocimiento, las muestras fueron diferentes (p · 0,05); la formulación conteniendo 15 % de harina de frijol de palo presento los mayores contenidos de humedad en comparación al control; esto en razón de la alta capacidad de retención de agua, tal como indicado anteriormente. Sin embargo, puede notarse que no hubo diferencia significativa entre el control y las galletas formuladas

con 5 % y 10 % de sustitución.

En cuanto al diámetro de la masa antes del proceso de cocción, no hubo diferencia significativa alguna entre las diferentes formulaciones. Sin embargo, luego del proceso de cocción se observó una ligera disminución de diámetro en la formulación con 15 %, no siendo estadísticamente significativo cuando comparado con el control.

No se observaron mayores diferencias en cuanto al espesor entre las formulaciones luego del proceso de cocción. Tampoco se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en relación al grado de expansión entre las formulaciones. Probablemente esto se debe a la falta de precisión en el espesor de las muestras durante el proceso de laminado.

TABLA 18. Características Organolépticas de las galletas elaboradas con 15 % d sustitución de harina de trigo por harina de frijol de palo (Cajanus cajan L)

Características	Resultados
Color	Café claro - verdoso
Olor	Masa horneada
Sabor	Dulce
Consistencia	Crocante
Aspecto General	Bueno

FIGURA 18. Galletas control elaboradas sin la adición de harina de frijol de palo

FIGURA 19. Galletas elaboradas con adición del 5% de harina de frijol de palo

FIGURA 20. Galletas elaboradas con adición del10% de harina de frijol de palo

FIGURA 21. Galletas elaboradas con adición del 15% de harina de frijol de palo

CONCLUSIONES

1. El frijol de palo (Cajanus cajan L), sometido a proceso de secado en las condiciones estudiadas presentó en su composición química, los siguientes valores: 11,98% de humedad; 88,02 % de materia seca; 22,34% de proteínas; 1,80% de lípidos; 58,33% de carbohidratos; 2,30% de cenizas una solubilidad de 93% aportando un total de 338,88% Kcal/100 gr de producto.

2. Las mejores condiciones operacionales durante el proceso de secado de frejol de palo (Cajanus cajan L), en función de las variables independientes, quedaron establecidas en: Temperatura: 54,0 °C; Tiempo: 6,0 horas; y velocidad de aire de 6 metro/seg. (60% de humedad relativa).

3. Los resultados también permitieron observar que es posible alcanzar valores de humedad correspondiente a 11,87 %; Índice de Absorción de agua (IAA) de 5,052 gH2O/ g de muestra; y 15,41% de Índice de Solubilidad en Agua (ISA).

4. Se puede concluir que durante el proceso de secado, hubo una disminución de humedad de 81,52 %. Incrementos de: 221,11 g H_2O/g muestra; para el Índice de Absorción de agua (IAA) y 203,52 % para el índice de solubilidad en agua (ISA).

5. El estudio demostró que es posible la obtención de galletas de aceptable calidad tecnológica por sustitución de 15 % de harina de trigo por harina de frijol de palo (Cajanus cajan L).

6. El presente estudio demostró que la adición de harina de frijol de palo en la elaboración de productos de panificación puede ser considerada una buena opción para elevar el nivel nutricional de personas con bajo recursos económicos. y en la prevención de enfermedades como la anemia, toda vez que las galletas elaboradas con adición de 15 %, reportaron datos importantes como: un alto nivel de Kcal equivalente a 474,80 Kcal/100gr; 11,97 % de proteínas; 19,60% de lípidos y 62,63% de carbohidratos.

REFERENCIAS

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Aproved methods. 9 ed. Saint paul: **AACC**, 1990.

Agunbiade, S. and Longe, O. The physicfunctional characteristics of starches from cowpea (Vigna unguiculata), pigeon pea (Cajanus cajan L) and yam bean (Sphenosty lisstenocarpa). Food chemistry, 65, 1999, p. 469-474

Aldana de León, Luis Fernando. Manual Producción Comercial, y de Semilla de Frijol (Phaseolus vulgaris L.). Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola (ICTA), Guatemala, febrero, 2010.

Anderson, P. La situación futura de los alimentos en el mundo y el papel de las enfermedades de los cultivos. Washington. USA. 2001. Disponible en: http://apsnet.org/education/feature/FoodSecurity/Top.htm

Araya Villalobos, Rodolfo; Martínez Umaña, Karolina; López Zúñiga, Adrián; Murillo Williams, Adriana. Protocolo para el manejo poscosecha de la semilla de frijol. FAO, primera ed., San José, Costa Rica, 2013.

Arias R., J. H. et al. 2001. Tecnología para la producción y manejo de semilla de fríjol para pequeños productores. Boletín Divulgativo 1. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Centro de Investigación La Selva, Rio negro, Antioquia, Colombia. Arias Restrepo, Jesús Hernando; Rengifo Martínez, Teresita;

Arias, Ciro. Manual de manejo post cosecha de granos a nivel rural. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Santiago, Chile. 1993. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5 027S01.htm

Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 1991

Barboza Tucto & Juan Lao Gonzales; Efecto de diferentes niveles de harina extrusada de frejol de palo (Cajanus cajan L), en la dieta de pollos de carne en las fases de crecimiento y acabado. Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María, 2016.

Beleia, A.; Grossmann, M.V.E. Germinação pré-colheita de trigo: Efeitos na qualidade do gras e da fariñha. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.25, n.12, p.179-1804,1990.

Bergeret, Gualberto. “Conservas Vegetales: Frutas y Hortalizas”, Salvat Editores S.A. Barcelona. (1963)

Box, G.E.P.; Behnken, D.W. Some new three level design for the study of quadrative variables. Technometrics, v.2, p.455-475, 1960.

BOX, G.P.; DRAPER, N.R. Empirical model-building and response surfases, New York, **J. Wiley & Sons**, 1987, 669p.

BUTT, M. and BATOOL, R. Nutritional and functional properties of some promising legumes protein isolates. Pakistan Journal of Nutrition, 9(4), 2010, p. 373-379.

Castillo, F., Guandagnucci, G. and Batistuti, J. Evaluation of some functional properties of lupin sweet flour (Lupinus albus) and faba bean flour (Cajanus cajan L (L) Millsp) and their utilization in cooked ham

production. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 30(1), 2009, p. 68-75

Chavez & Jimenez, Estudio Farmacognostico y Químico Preliminar del Extracto de las hojas de Frijol de Palo (Cajanus cajan L) nativa de la provincia del Guayas. Guayaquil – Ecuador, 2016.

Conabio. 2009. Catálogo taxonómico de especies de México. 1. In Capital Nat. México. Conabio, Mexico City.

Daza, silva. Ensayo experimental para la obtención de mezclas alimenticias a partir del frijol de palo (Cajanus cajan L.) y maíz amarillo (Zea mays L.) y estudios de su aplicación. 1984.

De Luna, A. Composición y procesamiento de la soya para consumo humano. Investigación y ciencia, 15(37), 2007, p. 35-44

Foncodes. El frijol de palo en los últimos años; Lambayeque exporta en menestras un promedio de 130 millones de dólares al año, siendo los más cotizados en el mercado el frijol de palo, abril 2017.

Ghavidel, R.A. and Prakash J. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. LWT Food science and technology, 40, 2007, p. 1292-1299

Jaramillo Carmona, Maribel. 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Fríjol Voluble. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), edición N° 17, ISBN 978-92-5-305827-3.

KAUR, M., SINGH, K. and SINGH, N. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flour from different field pea (Pisum sativum L.) and pigeon pea (Cajanus cajan L.) cultivars. Food chemistry, 104, 2007, p. 259-267.

Larrea, M. A. Martinez Bustos & Chang Y. Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. FOOD CHEMISTRY 2005. Vol.89, pag. 301 - 308

Llontop, L & Monsefu, L. La Agroindustria del Frijol de Palo en el Departamento de Lambayeque, Chiclayo, 2014.

Lopez, M.1986.Comportamiento de 8 variedades de Frijol (Phaseolus vulgaris L) en los ambientes de la Costa Central del Perú. Tesis Ing. Agrónomo UNALM. Lima - Perú. 95pp.

Martinez, C., Torres, A., Frias, J. And Vidal, C. Semolina supplementation with processed lupin and pigeon pea flour improve protein quality of pasta. LWT – Food Science and technology, 43, 2010, p. 617-622.

Ministerio de agricultura de la República Dominicana. (2016). El Guandúl. Recuperado de: http://www.agricultura.gob.do/perfiles/las-leguminosas/el-guandul/.

Mizubith, I; et al. Propiedades funcionais da farinha e concentrado protéico de feijão guandu (Cajanus cajan L (L.) Millsp). Archivos Latino Americanos de Nutrición, 50(3), 2000, p. 274-280.

Montaner, J. (2006). Propiedades de la harina de gandul. Consumer Eroski. Recuperado de http://www.consumer.es/seguridad- alimentaria/sociedad-y-consumo/2006/09/05/24805.

Navarro C., et al., (2014). El Gandul (Cajanus cajan L) una alternativa en la industria de los alimentos, Edición 12(2), p.15-32.

Navarro CL, Restrepo DM, Pérez MJ (2014). El guandul (*Cajanus cajan L*) una alternativa en la industria de los alimentos. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 12 (2): 197-206.

Okpala, L.C. and Namha, E.N. Functional properties of raw and processed pigeon pea (Cajanus cajan L) flour. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 52, 2001, p. 343–346.

Olayo, R.A. Chemical and nutritional quality changes in germinating seeds of Cajanus cajan L. Food Chemistry, 85, 2004, p. 497-502.

Onwelluso, J.C. and Nwabugwu, C.C. Fermentation of Millet (Pennisetum americanum) and Pigeon pea (Cajanus cajan L) seed for production: Effects on composition and selected functional properties. Pakistan Journal of Nutrition, 8(6), 2009, p.737-744

Organizaciòn De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentaciòn (FAO). Cajanus cajan L [online]. 2007. Disponible en: http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/ cropView?id=576. [citado 2 nov 2010].

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Departamento de Agricultura. Manual de manejo pos cosecha de granos a nivel rural. [EN LINEA]. [Citado el 2 de noviembre de 2014]. Disponible en < http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S02.htm.

Perea Pinedo, Julio César-Utilización de harina de Frijol de Palo (Cajanus cajan L) en la Elaboración de Manjar Blanco; Universidad Nacional de San Martin - Tarapoto 2007. php, consultado el 8 de Junio, 2010. rev_agro/article/view/133

Praderes, G., García, A.,& Pacheco, E. (2009). Caracterización físico, química y propiedades funcionales de harina de quinchoncho (*Cajanus cajan L*) obtenida por secado en doble tambor rotatorio. Revista Agronomía UCV. Venezuela. Recuperado de http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/

Rackis, J.J. Biological active components. In: Smith AK, Circle SJ. eds. Soybeans: chemistry and technology. Vol 1. AVI Publishing Co., Westport. 1972; 158-202. Citado por: DE LUNA, J. Alfonso. Composición y procesamiento de la soya para consumo humano. Investigación y ciencia, 15(37), 2007, p. 35-44

Ruíz Casimiro Obtención de harina pre cocida del frijol de palo (Cajanus cajan L) su caracterización y aplicación. 1997.

Silva, B. M. C.; Oliveira, D. E. C. De; Farias, B. De L.; Costa, V. S.; Ferreira, V. B.; Nunes, M. R. G.; Resende, O. Influence of quality and physiological coloration of guandu bean seeds. Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e975974789, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.4789

SILVA, R.S.; BORSATO, D. Análise de biosistemas a través de delineamiento Fatorial: Otimización pelo método Super Simples modificado**. Arq. Biol. Tecnol**. SP. v.28, n.4, p.521-533, 1985.

Sangronis; Machado & Cava, R. Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (phaseolus vulgaris y Cajan cajan) germinadas. Interciencias, 29(2), 2004, p. 80-85.

Saxena, K.B., Kumar, R.V. and Sultana, R. Quality nutrition through pigeon pea: a review. Health, 2(11), 2010, p. 1335-1344.

Stevens et al; Fabaceae = Leguminosae en parte (*Cajanus cajan L*) Millsp. Chícharo gandú México, 2001

Tiwari, B.K., Rangarajan, J.M. and Vasan, B. Effect of several Pre-treatments on the physical characteristics of dehulled fraction of pigeon pea (Cajanus cajan L). International Journal of Food Science and Technology, 43, 2008b, p. 1458–1463.

Valladares, C; 2010. Taxonomía y Botánica de los cultivos de grano. Disponible en: www.curlacavunah.files.wordpress.com/unidad.taxonomia-botanica.Valladares.

Velásquez Tuesta, A. Cultivos del Norte del País; El Frijol de palo es el cultivo que más creció en estos últimos años: Sierra y selva Exportadora; abril 2017. Perú.

SOBRE OS AUTORES

MIGUEL ÁNGEL LARREA CÉSPEDES - Nació en la ciudad de Tingo María, un 11 de diciembre de 1956; sus padres fueron: Don Miguel Ángel Larrea Espinoza, natural de Lima y doña Consuelo Céspedes Aguilar, natural de San Martín. Sus primeros estudios los realizó en la Escuela N°. 1130 de Santo Domingo de Anda; para luego seguir estudios secundarios en el Colegio Nacional Mixto Gomes Arias Dávila de Tingo María, posteriormente ingresó a la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Tingo María; donde siguió la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, habiéndose graduado en 1982. Y obtenido el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias en 1983. Ingresó a trabajar como docente de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna en noviembre de 1984. Su inquietud por seguir estudios de post-grado lo llevó al Brasil; es así que en 1991 gana una beca internacional para seguir estudios de maestría en Ciencia de los alimentos en la Universidad Estadual de Londrina, habiendo culminado con éxito a mediados de 1993. En febrero de 1994 contrae matrimonio con doña Susana Villanueva Brañez, y, a comienzos de 1996 tuvo que viajar a la ciudad de Campinas para seguir estudios de doctorado en la Universidad Estadual de Campinas. Estudios que culminaron con éxito en diciembre de 1999, habiendo retornado luego al Perú con el grado de doctor en Tecnología de Alimentos. Durante mi trayectoria como docente, he desempeñado los siguientes cargos: Rector de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, habiendo siendo elegido el 03 de agosto del 2011 hasta el 28 de octubre del 2015; Decano de la Facultad de Ingeniería en Industrias alimentarias en varias oportunidades; Jefe de Departamento académico de Industrias Alimentarias; Director de la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; Vicerrector de Investigación y docente de la asignatura Investigación científica en la Universidad Particular Señor de Sipan de Lambayeque en el periodo 02 de enero 2018 al 01 de marzo 2019. Así mismo se puede indicar que el Dr. Larrea ha realizado importantes publicaciones científicas en revistas internacionales dedicadas al rubro de alimentos, entre las que destacan: *Cereal Science and Technology; Annual meeting Abstract book; Nutrition Research; Cereal Chemistry; Cereal Food To day.* También ha participado en Congreso y eventos científicos a nivel Internacional en calidad de expositor, entre las cuales figuran: *Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, Campinas - Brasil; XVII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza – Brasil; - Annual Meeting, 2004, Las Vegas-USA; - Ciência e Tecnologia de Alimentos -Cereais Raízes e Tubérculos; Brasil.* Entre los reconocimientos, figuran los siguientes: Profesor Honorario de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María; Miembro Honorario del Ilustre Colegio de profesores del Perú; Miembro Honorario de la Asociación pro Marina de guerra del Perú; Miembro del pleno de la asamblea nacional de rectores del Perú Actualmente el doctor Miguel Ángel Larrea radica en la Ciudad de Tacna, y presta servicios como docente en la Facultad de Ciencias Agropecuarias

en la que desarrolla las asignaturas de: Ciencia de los alimentos, Análisis de los alimentos, Análisis Instrumental de los alimentos, Nutrición Humana, Tecnología de panificación, Tecnología de extrusión. Mayores informaciones académicas pueden ser visualizadas en Ficha CTI vitae, https://orcid.org/0000-0001-9752-8482.

WILLY MONTALVO FERNANDEZ - Nací en la ciudad de Chiclayo capital de la región Lambayeque, ubicada en la zona norte de la República de Perú, es conocida como la Capital de la Amistad debido a la hospitalidad de su gente. Lugar donde realicé mis primeros estudios secundarios y técnicos, para luego continuar los estudios superiores de Ingeniería Industrial en la Universidad Privada Alas Peruanas de la ciudad de Lima, luego en el sector de Educación Universitario participé en Concurso Público y me desempeñé como Asistente de Planta de la Unidad Agroindustrial en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, desarrollé actividades de apoyo académico, investigación y de interrelación con la entidad empresarial. Paralelamente desempeñé labor docente en el Programa Holandés IPACE, formación de aprendices para el sector industrial, del Servicio Nacional de Adiestramiento Industrial (SENATI- NORTE) y en el Departamento Académico de Industrias Alimentarias Instituto Superior Tecnológico Enrique López Albújar, (IST "ELA"). En experiencia de desempeño en el sector Industrial, laboré activamente desde el año 2003-2021 en la Empresa Agroindustrial Procesadora Perú SAC, como Jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo; asimismo desde el año 2005-2021 como Jefe de la Planta Piloto UNPRG área de soporte al proceso misional de desarrollo de la Investigación participando en actividades de investigación formativa, proyectos de tesis de pre grado, maestrías y doctorados. Continué mis estudios en la Escuela de Pos Grado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, egresando del Programa de Administración con mención en Gerencia Empresarial (año 2017) con la tesis titulada: Modelo de Gestión Estratégica de Procesos para mejorar la Investigación en la planta piloto agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias – Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Continué aportando en actividades de asesoría a la pequeña y mediana industria regional hasta el año 2021. Me desempeño como miembro activo del Instituto de Especialistas en Procesos Térmicos USA año 2021 (IFTPS). He participado como invitado en diferentes instituciones universitarias en ponencias a congresos y eventos de investigación.

JOSÉ LUIS RAMÍREZ ASCHERI - Nací en Tingo María, Perú, una región conocida como la puerta de entrada a la Amazonía peruana. Allí realicé estudios desde mis primeros años hasta que me gradué, en 1981, de Ing °. de Alimentos, en la Universidad Nacional Agraria de Selva, en la misma ciudad. Mi primer trabajo fue como profesor contratado en la misma universidad, una experiencia interesante para un recién graduado. En Lima, Perú conseguí trabajo como asistente de

investigación en la empresa *Maltería Lima*, donde trabajaba en análisis químico de muestras de malta utilizadas en cervecerías de la capital peruana, mi tiempo allí era corto, ya que pronto me llamaron y contrataron como Planta. Gerente de una fábrica de refrescos, entonces *Bebidas La Loretana*, en Pucallpa, Perú. Luego de dos años en esta actividad, como desafío personal, decidí viajar a Brasil con el propósito de realizar una maestría académica en la Facultad de Ingeniería de Alimentos (FEA) de la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), obteniendo una maestría en Tecnología de Alimentos en 1987. Mientras estaba en FEA, todavía como estudiante de maestría, fui contratado como Técnico de Educación Superior por FEA, un puesto que ocupé durante aproximadamente dos años. Mientras estuve en el cargo, continué mis estudios inscribiéndome en el curso de doctorado en FEA-UNICAMP. A fines de 1989, se realizó un concurso público para investigador de EMBRAPA, en el área de Tecnología del Cereales, en el cual participé y me incorporé como tal en marzo de 1990 luego de mi renuncia como empleado de la UNICAMP. En Embrapa Agroindustria de Alimentos (CTAA), con el propósito de realizar mi tesis doctoral, viajé a Estados Unidos, con una beca de Embrapa, como investigador visitante en Texas A&M University, en el Food Protrein R&D Center, luego de 18 meses. Logré terminar la parte experimental de mi Tesis, que defendí en la FEA en 1994 después de redactarla, para obtener el título de Doctor en Tecnología de Alimentos. Cuando me uní a las actividades de investigación del CTAA, me incorporé al grupo de investigadores del área de Tecnología de Cereales, en el que trabajo hasta ahora, que en 2021 ya han pasado 31 años de intenso trabajo en equipo con grandes alcances. Al mismo tiempo, como resultado de un convenio entre EMBRAPA y el Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos (PPGCTA) de la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ), he estado trabajando como profesor permanente en este programa desde 1995 hasta la actualidad, donde he contribuido como asesor/supervisor permanente, hasta ahora, de estudiantes, con 25 Disertaciones en la obtención de Maestría y 16 Tesis para obtención de Doctorado otorgadas por la UFRRJ. Por otro lado, para apoyar un nuevo programa de posgrado, fui invitado a participar como profesor permanente en el Programa de Posgrado en Nutrición y Salud (PPGNS) de la Universidad Federal de Espírito Santo (UFES). Como resultado de la investigación en CTAA y la orientación de posgrados, he publicado como autor y coautor cerca de 180 publicaciones en revistas técnico-científicas nacionales e internacionales, así como participación en congresos relacionados con Tecnología de Alimentos/Cereales. Se puede ver más información sobre los resultados académicos en Curriculum Lattes, http://lattes.cnpq.br/1891994321882753, o en *Google Scholar,* como José Ascheri.

MODELOS MATEMÁTICOS

PARA

SECADO DE FRIJOL DE PALO (CAJANUS CAJAN L.)

UTILIZANDO UN SECADOR DE BANDEJAS TIPO TÚNEL PARA PRODUCCIÓN DE HARINA

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2021